que, conhecendo melhor este material tão nobre, saibam valorizá-lo e empregá-lo da melhor forma possível.

*Não seria justo encerrar esta apresentação sem agradecer aos professores Aracely Vidal Gomes e Lincoln Lopes Teixeira, do Curso de Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, bem como a Verônica Angyalossy Alfonso, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, pelas críticas e sugestões apresentadas, à GTZ (*Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit*), pelo apoio financeiro prestado, e a todas as pessoas que, de uma ou outra forma, contribuíram para a concretização desta obra.*

Os autores

Sumário

Introdução

Anatomia (do grego *anatomé:* incisão, dissecação, com sufixo latino *ia*) da madeira é o estudo dos diversos tipos de células que constituem o lenho (xilema secundário), suas funções, organização e peculiaridades estruturais, com os objetivos de:

- conhecer a madeira visando um emprego correto;
- identificar espécies;
- distinguir madeiras aparentemente idênticas;
- predizer utilizações adequadas de acordo com as características anatômicas da madeira;
- prever e compreender o comportamento da madeira no que diz respeito à sua utilização.

1. Estrutura macroscópica do tronco

A madeira é um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células com propriedades específicas para desempenharem as funções vitais abaixo mencionadas:

- condução de líquidos;
- transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas;
- sustentação do vegetal.

Em uma seção transversal de um tronco típico, com exceção do câmbio e em muitos casos dos raios, as seguintes partes se destacam macroscopicamente. (Figura 1.)

Casca

A *casca* é constituída interiormente pelo floema, conjunto de tecidos vivos especializados para a condução da seiva elaborada, e exteriormente pelo córtex, periderme e ritidoma, tecidos que revestem o tronco. A casca é de grande

Figura 1 — *Seção de um tronco típico (adaptada; fonte desconhecida).*

importância na identificação de árvores vivas, e o estudo da sua estrutura vem despertando cada vez mais o interesse da anatomia da madeira, por contribuir enormemente para a distinção de espécies semelhantes. Embora na maioria das vezes desprezadas na industrialização, as cascas de algumas espécies são exploradas comercialmente, tais como a do carvalho (*Quercus suber* L. *Fagaceae*) na fabricação da cortiça, acácia-negra (*Acacia decurrens* Willd.-*Leg. Mimosaceae*), barbatimão (*Stryphnodendron barbatimao* (Vell.) Mart.-*Leg. Mimosaceae*), angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan *Leg. Mimosaceae*), angico-preto (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan *Leg. Mimosaceae*), angico-branco (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speg.-*Leg. Mimosaceae*) etc. na produção de tanino, cinamomo (*Cinnamomum zeylanicum* (Garc.) Bl.-*Lauraceae*) na obtenção da canela e, enfim, em inúmeras outras utilizações, como alimento para gado, extensores para colas, produtos farmacêuticos e de perfumaria etc.

Além do armazenamento e condução de nutrientes exercidos pelo floema, a casca tem como função proteger o vegetal contra o ressecamento, ataques fúngicos, injúrias mecânicas e variações climáticas.

Câmbio

O *câmbio* é um tecido meristemático, isto é, apto a gerar novos elementos celulares, constituído por uma camada de células situada entre o xilema e o floema, só sendo visível ao microscópio. Permanece ativo durante toda a vida do vegetal e é responsável pela formação dos tecidos secundários que constituem o xilema e a casca. A atividade cambial é sensivelmente influenciada pelas condições climáticas.

Anéis de crescimento

Em regiões caracterizadas por clima temperado, os *anéis de crescimento* representam habitualmente o incremento

anual da árvore. A cada ano é acrescentado um novo anel ao tronco, razão por que são também denominados *anéis anuais,* cuja contagem permite conhecer a idade do indivíduo.

Em um anel de crescimento típico distinguem-se normalmente duas partes:

- lenho inicial (lenho primaveril);
- lenho tardio (lenho outonal ou estival).

O *lenho inicial* corresponde ao crescimento da árvore no início do período vegetativo, normalmente primavera, quando as plantas despertam do período de dormência em que se encontravam, reassumindo suas atividades fisiológicas com todo vigor. As células da madeira formadas nesta ocasião caracterizam-se por suas paredes finas e lumes grandes que lhes conferem em conjunto uma coloração clara. Com a aproximação do fim do período vegetativo, normalmente outono, as células vão diminuindo paulatinamente sua atividade fisiológica. Em conseqüência deste fato, suas paredes vão tornando-se gradualmente mais espessas e seus lumes menores, distinguindo-se do lenho anterior por apresentarem em conjunto uma tonalidade mais escura. É esta alternância de cores que evidencia os anéis de crescimento de muitas espécies, em especial das gimnospermas, vulgarmente conhecidas como coníferas (ver capítulo 5 — *Grupos vegetais que produzem madeiras*). (Figura 2.)

Em madeiras de angiospermas dicotiledôneas, comumente designadas *folhosas,* os anéis de crescimento podem destacar-se por determinadas características anatômicas, tais como:

- presença de uma faixa de células parenquimáticas nos limites dos anéis de crescimento (parênquima marginal — Figura 3, ponto A), que aparece macroscopicamente como uma linha tênue de tecido mais claro. Exemplos: *Liriodendron tulipifera* L.-*Magnoliaceae* e mogno (*Swietenia macrophylla* King-*Meliaceae*);

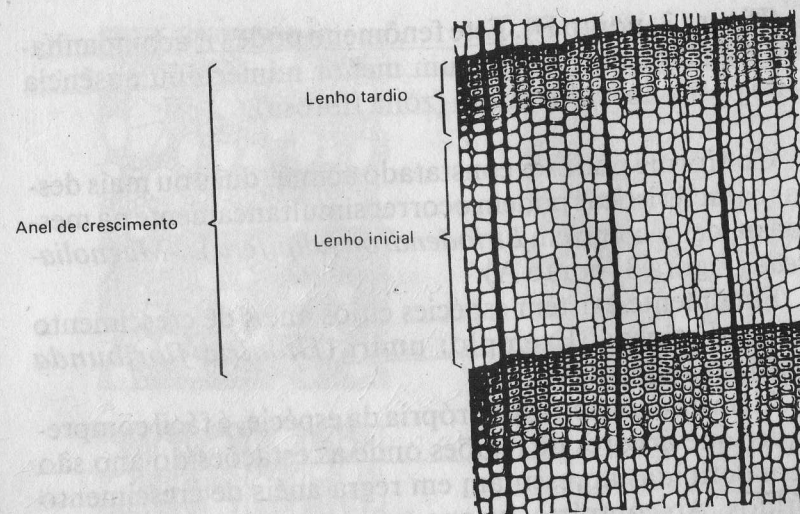



Figura 2 — Anel de crescimento de uma gimnosperma (**Tsuga canadensis*** ***(L.) Carr.*****-Pinaceae*****).***
Fonte: Brown, Panshin & Forsaith, 1949

- alargamento dos raios nos limites dos anéis de crescimento (aspecto apenas visível sob microscópio — Figura 3, ponto A). Exemplos: *Liriodendron tulipifera* L.-*Magnoliaceae* e pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.-*Rutaceae*) etc.;
- concentração ou maior dimensão dos poros no início do período vegetativo (porosidade em anel — Figura 3, ponto B). Exemplos: *Catalpa bignonioides* Walt.-*Bignoniaceae* e cedro (*Cedrela fissilis* Vell.-*Meliaceae*) etc.;
- espessamento diferencial das paredes das fibras de forma análoga ao que ocorre nas gimnospermas (Figura 3, ponto C). Exemplos: pereira (*Pyrus communis* L.-*Rosaceae*) e bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.-*Leg. Mimosaceae*) etc.
- alteração no espaçamento das faixas tangenciais de um parênquima axial (reticulado ou escalariforme, ver *Parênquima axial*) como em sapotáceas e lecitidáceas. Exemplos: ceru (*Cariniana decandra* Ducke-*Lecythidaceae*)

(Figura 3, ponto D). Este fenômeno pode vir acompanhado adicionalmente por um menor número ou ausência de poros no lenho tardio (zona fibrosa).

Conforme pode ser constatado acima, duas ou mais destas características podem ocorrer simultaneamente na mesma madeira como em *Liriodendron tulipifera* L.-*Magnoliaceae* (Figura 3, ponto A).

Finalmente existem espécies cujos anéis de crescimento são indistintos. Exemplo: umiri (*Humiria floribunda* Mart.-*Humiriaceae*).

Além da característica própria da espécie, é fácil compreender que árvores de regiões onde as estações do ano são bem definidas apresentam em regra anéis de crescimento nítidos. Ao contrário, as que crescem em locais de condições climáticas constantes têm habitualmente anéis de crescimento indistintos ou pouco evidentes. Para muitas árvores tropicais os anéis correspondem a períodos de chuva e períodos de seca, queda das folhas e/ou simplesmente dormência, podendo ocorrer dois ou mais ciclos em um ano. Anéis de crescimento não são portanto necessariamente anéis anuais!

É comum encontrarem-se em troncos *anéis de crescimento descontínuos* (que não formam um círculo completo em torno da medula) e os chamados *falsos anéis de crescimento* (quando se forma mais de um anel por período vegetativo), que dificultam a determinação exata da idade de uma árvore. Anéis de crescimento descontínuos ocorrem principalmente em árvores velhas que apresentam copa assimétrica. O câmbio em uma ou mais regiões do tronco permanece em dormência durante uma ou várias estações de crescimento, provocando a descontinuidade do anel. Falsos anéis de crescimento podem surgir em virtude da perda temporária da folhagem causada por geadas tardias, ataques fúngicos ou de insetos, ou devido a estímulo de crescimento fora da época, motivado por condições favoráveis: uma primavera seca seguida de outono chuvoso, disponibilidade súbita de nutrientes, eliminação de concorrentes etc.

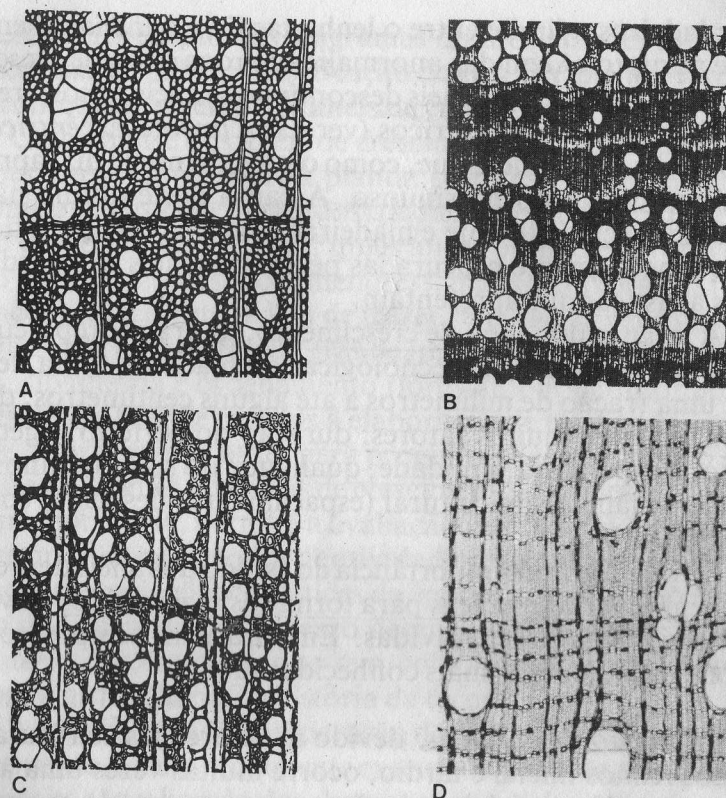



*Figura 3 — Características anatômicas que destacam os anéis de crescimento em angiospermas: A — Parênquima marginal e alargamento dos raios no limite dos anéis de crescimento (***Liriodendron tulipifera** *L.*-**Magnoliaceae***); B — Porosidade em anel (***Catalpa bignonioides** *Walt.*-**Bignoniaceae***); C — Espessamento diferencial das paredes das fibras no fim do período vegetativo: bétula (pereira,* **Pyrus communis** *L.*-**Rosaceae***); D — Alteração no espaçamento das faixas tangenciais de parênquima axial (ceru,* **Cariniana decandra** *Ducke*-**Lecythidaceae***).*

Fonte: A, B, C: Grosser, 1977; D: autores.

Em uma análise de tronco, estes anéis podem ser muitas vezes detectados por não apresentarem um limite tão nítido como o dos anéis verdadeiros. Microscopicamente, a camada de células de paredes espessas que determina o anel falso decresce gradativamente tanto para o interior como para o exterior do tronco, enquanto que em anéis

verdadeiros o limite entre o lenho tardio e o inicial é sempre abrupto. Além das anormalidades dos anéis de crescimento consideradas (anéis descontínuos e anéis falsos), resta citar os anéis excêntricos (ver *Crescimento excêntrico*) e os anéis ondulados, que, como o próprio nome diz, apresentam um contorno sinuoso. A causa deste último não foi esclarecida até hoje e madeiras com esta característica são especialmente procuradas pelas excelentes propriedades acústicas que apresentam.

A largura dos anéis de crescimento, de grande repercussão nas propriedades tecnológicas da madeira, varia desde uma fração de milímetros a até alguns centímetros, dependendo de muitos fatores: duração do período vegetativo, temperatura, umidade, qualidade do solo, luminosidade e manejo silvicultural (espaçamento, desbaste, concorrência etc.).

Devido à grande importância do estudo dos anéis de crescimento, várias técnicas para torná-los mais nítidos e avaliá-los foram desenvolvidas. Embora nem sempre com bons resultados, as mais conhecidas são:

- *Aplicação de corantes:* devido às diferenças estruturais dos lenhos inicial e tardio, ocorre muitas vezes uma absorção diferencial da solução corante, tornando os anéis mais evidentes.
- *Imersão em ácido:* em coníferas, por exemplo, haverá normalmente uma corrosão mais intensa nas partes correspondentes ao lenho inicial, destacando-se os anéis por zonas mais ásperas ou por ondulações.
- *Exposição à chama de um bico de Bunsen:* os anéis se evidenciarão por partes negras mais brilhantes.
- *Medição da intensidade luminosa:* atravessa um corte delgado de madeira ao longo dos anéis de crescimento.
- *Aparelhos tateadores:* dotados de uma agulha que penetra a pequenos intervalos no lenho, permitem registrar mecanicamente o esforço requerido ou a profundidade de penetração, mediante uma força constante.
- *Exposição a raios X:* é medida a intensidade de raios que atravessam o lenho ao longo dos anéis de crescimento.

A interpretação dos diagramas obtidos nos três últimos métodos permite a identificação dos lenhos inicial e tardio e conseqüentemente dos anéis de crescimento.

Uma análise dos anéis de crescimento fornece informações importantes sobre a planta: se apresenta incremento rápido (anéis bem espaçados) ou incremento lento (pequeno espaço entre os anéis), quais anos foram desfavoráveis ao crescimento (espaços menores), quais os favoráveis (espaços maiores) etc. Além de trazer referências valiosas sobre a vida do vegetal, de grande interesse para a silvicultura, silvimetria e ordenamento florestal, por permitir através de análises de troncos a elaboração de tabelas de volume e por fornecer bases para prognoses de produção, o estudo da largura dos anéis de crescimento, relacionado com a meteorologia, permite a avaliação de precipitações havidas durante os períodos de atividade vegetativa e a identificação de variações climáticas de épocas passadas. Do estudo dos anéis de crescimento desenvolveu-se uma ciência, a *dendrocronologia*, que tem colaborado enormemente com a arqueologia e a história da técnica.

A interpretação e comparação de diferentes curvas de incremento, tarefa atualmente executada por computadores, permite a localização das chamadas *zonas de sincronização* (Figura 4) e, por meio do método de sobreposição, a elaboração de uma dendrocronologia regional cobrindo determinado período de tempo no passado. Pela comparação dos anéis de crescimento de peças antigas de madeira, é possível saber se as mesmas procedem desta região e em caso positivo determinar a sua idade. (Figura 4.)

Considerando-se a grande longevidade que podem alcançar indivíduos de algumas espécies — tais como sequóia (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.-*Taxodiaceae*), 2 000 anos; sequóia-gigante (*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchholz-*Taxodiaceae*), 3 000 anos; um exemplar de pínus (*Pinus aristata* Engelm.-*Pinaceae*), que com 4 600 anos é considerado o ser vivo mais velho conhecido na Terra —, é fácil compreender que seus troncos constituem documentos históricos de grande valor regional.

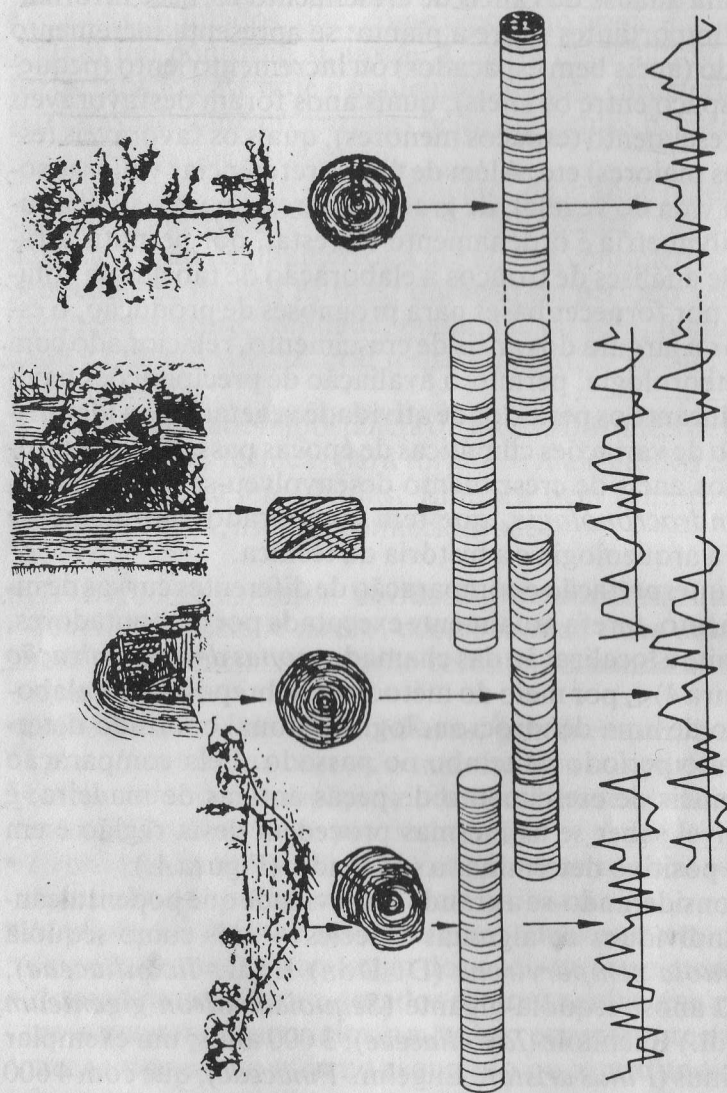



Figura 4 — Princípio da dendrocronologia.
Fonte: Richter & Trobajo, 1987.

A espessura e a regularidade dos anéis de crescimento são também indicativos de qualidades tecnológicas da madeira. Nas gimnospermas, por exemplo, o lenho inicial com seus elementos de paredes delgadas e lumes grandes, em vista da função primordial de condução, é menos denso. Já o lenho tardio, com suas células de paredes espessas e lumes pequenos, cuja função principal é a sustentação, é mais denso. A densidade de peças de madeira de certas espécies é estimada pelo número de anéis que contêm, podendo ser rejeitadas para determinados usos quando não apresentam a quantidade de anéis requerida.

Cerne e alburno

Em muitas árvores, a parte interna do tronco (cerne) se destaca por sua cor mais escura. A causa da formação do cerne deve-se ao fato de que, com exceção das células parenquimáticas que apresentam maior longevidade e permanecem vivas até certa distância para o interior do tronco (alburno), apenas suas camadas mais periféricas são fisiologicamente ativas: o fluxo ascendente de líquidos retirados do solo ocorre nos anéis de crescimento mais externos do xilema, o transporte da seiva elaborada se dá no floema e finalmente a formação de novas células é realizada pelo câmbio.

Assim, à medida que a árvore cresce, as partes internas distanciam-se do câmbio, perdem gradativamente sua atividade vital e adquirem coloração mais escura em decorrência da deposição de tanino, resinas, gorduras, carboidratos e outras substâncias resultantes da transformação dos materiais de reserva contidos nas células parenquimáticas do alburno interno. Como exemplo de substâncias corantes encontradas no cerne de algumas espécies temos: a brasilina no pau-brasil (*Guilandina echinata* (Lam.) Spreng.-*Leg. Caesalpiniaceae*)[1], a hematoxilina no pau-

1. Sin.: *Caesalpinia echinata* Lam.-*Leg. Caesalpiniaceae*.

campeche (*Haematoxylum campechianum* L.-*Leg. Caesalpiniaceae*) e o lapachol, do gênero *Tabebuia* (*Bignoniaceae*), substância orgânica cristalina de cor amarela.

Além das modificações mencionadas, em determinadas angiospermas, associada à formação do cerne, observa-se a ocorrência de *tilose* — obstrução do lume dos vasos por *tilos*, que consistem em proliferações de células parenquimáticas adjacentes que neles penetram pelas pontoações (Figura 5). Este fenômeno é atribuído a diferenças de pressão entre vasos e células de parênquima contíguas. Enquanto aqueles conduzem os fluidos ativamente, as pressões dentro das células de ambos são mais ou menos idênticas. Porém, com a diminuição da intensidade do fluxo de líquidos nos vasos, a pressão no interior das células parenquimáticas torna-se bem maior e, em conseqüência, a fina parede primária das pontoações do parênquima se distende penetrando na cavidade dos vasos. Ferimentos externos podem estimular a formação de tilos visando bloquear a penetração de ar na coluna de líquidos em circulação. Às vezes, o surgimento de tilos é decorrente da degradação enzimática das membranas de pontoações por fungos xilófagos.

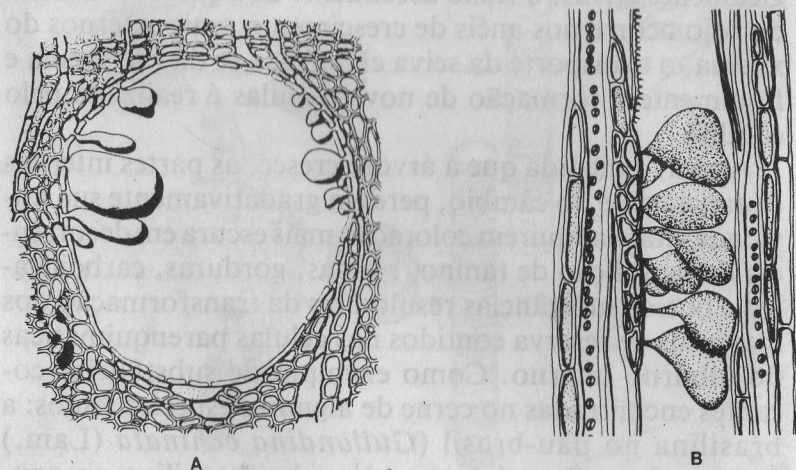



Figura 5 — Lume do vaso invadido por tilos: A — Seção transversal; B — Seção longitudinal tangencial.

Fonte: Jacquiot Trenard & Durol, 1973, versão modificada pelos autores.

Os tilos que aparecem macroscopicamente como membranas transparentes brilhantes dentro dos vasos são importantes na identificação de madeiras. Sua presença é típica em gêneros como: *Platanus, Prunus, Quercus, Robinia, Populus, Carya, Castanea, Lecythis, Astronium* etc. e também em espécies como, por exemplo, tatajuba (*Bagassa guianensis* Aubl.-*Moraceae*), assacu (*Hura crepitans* L.-*Euphorbiaceae*) etc., enquanto que em outras madeiras são praticamente ausentes, como é o caso da família das meliáceas. As dimensões das pontoações das paredes dos vasos constituem fator limitante para o aparecimento de tilos, sendo que estes só podem se desenvolver em madeiras em que aquelas são maiores do que 7 μm^2.

Tilos podem ser excepcionalmente observados em fibras com pontoações grandes (ver *Fibras*), como em alguns gêneros de lauráceas e magnoliáceas.

No que diz respeito à utilização da madeira, os tilos dificultam a secagem e a sua impregnação com substâncias preservativas, já que obstruem as vias normais de circulação de líquidos. Por outro lado, entre outras características, as tiloses são em parte responsáveis pelas excelentes qualidades da madeira de carvalho (*Quercus robur* L.-*Fagaceae*) na confecção de barris para armazenamento de bebidas alcoólicas. Os tilos constituem barreiras físicas que se antepõem à penetração de fungos xilófagos, dificultando-a. Em casos especiais, as tiloses podem aumentar a massa específica[3] da madeira.

Tilos são também encontrados em gimnospermas. Ocorrem nos traqueóides axiais (ver *Traqueóides axiais*) de espécies que apresentam pontoações do campo de cruzamento do tipo fenestriforme (ver p. 62 e Figuras de 22 a 25), como resultado de injúrias mecânicas, infecções ou estímulo químico.

É comum encontrarem-se no cerne os canais resiníferos das gimnospermas obstruídos pela dilatação das células

2. 1 µm = 0,001 mm.

3. Massa específica é o termo atualmente usado em lugar de peso específico.

epiteliais (ver *Células epiteliais*) que o circundam, fenômeno conhecido por *tilosóide*. Em conseqüência, a resina é expelida dos mesmos, impregnando os tecidos vizinhos.

O cessar das atividades fisiológicas de condução e armazenamento, que caracteriza a formação do cerne, acarreta nas gimnospermas, entre outros efeitos, o fechamento das pontoações areoladas (Figura 18). Em conseqüência da suspensão gradativa da circulação de líquidos pelas células, o toro, parte espessa localizada no centro do retículo de sustentação (margo), torna-se mais ou menos inativo, encostando-se num dos lados. A pontoação nestas condições, denominada *pontoação aspirada* (Figura 6), dificulta ou pode bloquear completamente a passagem de fluidos, uma vez que apenas o retículo de sustentação é permeável, e o toro se encontra muitas vezes irreversivelmente colado por substâncias orgânicas.

Pontoações aspiradas não se limitam exclusivamente ao cerne, pois, como já foi mencionado, também constituem um recurso do vegetal para impedir a penetração de ar na coluna ascendente de líquidos em caso de ferimentos.

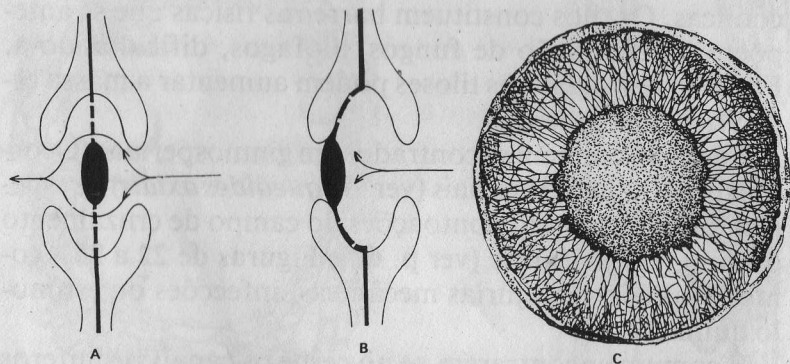



Figura 6 — Pontoação areolada: A — Toro em posição normal, permitindo a circulação de líquidos (seta); B — Pontoação aspirada: toro deslocado, bloqueando a passagem de fluidos; C — Vista frontal do toro no centro das malhas do retículo de sustentação.

Outro fenômeno que pode limitar a passagem de fluidos pelas pontoações é a *incrustação*, ou seja, a deposição de materiais, igualmente de origem orgânica, nas malhas do retículo de sustentação.

Por possuir um tecido mais compacto e com baixo teor de nutrientes (tiloses, pontoações aspiradas, presença de substâncias repelentes e/ou tóxicas, ausência de conteúdo celular), o cerne é muito menos suscetível à ação de agentes degradadores e apresenta uma durabilidade natural superior à do alburno. Em caso de tratamentos preservativos, entretanto, o cerne é bem menos acessível à penetração de soluções imunizantes.

Como já mencionado, a região periférica do alburno representa, juntamente com o câmbio, a parte de maior atividade fisiológica no tronco: as células condutoras das zonas mais externas participam ativamente do transporte ascendente de líquidos na árvore e suas células parenquimáticas vivas encerram substâncias nutritivas (amido, açúcares, proteínas etc.), que são em parte responsáveis pela sua maior suscetibilidade ao ataque de insetos e fungos, freqüentemente por elas atraídos.

A proporção de cerne e alburno varia dentro da própria árvore e, além de outros fatores, depende da espécie, idade, sítio, solo e clima.

Nem sempre o cerne se destaca do alburno por uma coloração mais intensa, apesar de existir fisiologicamente. Fala-se neste caso de ''cerne fisiológico''. É o caso do choupo (*Populus* sp-*Salicaceae* e *Caryocar* sp-*Caryocaraceae*), por exemplo. Existem ainda espécies em que o cerne é absolutamente ausente.

Generalizando, as principais diferenças entre o cerne e o alburno são:

- o cerne apresenta, via de regra, cor mais escura;
- o cerne apresenta menor teor de umidade devido à redução da atividade fisiológica;
- o cerne é mais resistente ao ataque de agentes xilófagos e degradadores;

• o cerne é menos permeável, secando e recebendo soluções preservativas com mais dificuldade.

Em muitas leguminosas, o elevado teor de infiltrações do cerne faz com que este apresente maior massa específica do que o alburno, sem contudo aumentar-lhe as propriedades de resistência mecânica.

Raios

São faixas horizontais de comprimento indeterminado, formadas por células parenquimáticas, isto é, elementos que desempenham primordialmente a função de armazenamento de substâncias nutritivas, dispostas radialmente no tronco. Só são nitidamente visíveis a olho nu quando extremamente largos e altos como no carvalho (*Quercus* sp -*Fagaceae*), erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil. -*Aquifoliaceae*), louro-faia (*Roupala* sp -*Proteaceae*), e outras. Apresentam uma grande riqueza de detalhes e variações morfológicas quando observados nas seções longitudinais radial e tangencial, constituindo importantes elementos para a anatomia da madeira e identificação de espécies. Além da função de armazenamento, os raios fazem também o transporte horizontal de nutrientes na árvore. Suas células, como os demais elementos parenquimáticos, apresentam uma longevidade maior em comparação com as outras células que constituem o lenho.

O termo *raio medular* designa genericamente apenas os raios formados nos primeiros anos de crescimento, que se encontram realmente em contato com a medula.

Medula

A *medula* é a parte que normalmente ocupa o centro do tronco, cuja função é a de armazenar substâncias nutritivas. Seu papel é especialmente importante nas plantas jovens, nas quais, segundo Grosser, 1977, participa também da condução ascendente de líquidos. O seu tamanho, coloração e forma, principalmente nas angiospermas dicotiledôneas, são muito variáveis.

Por ser constituída de tecido parenquimático, a medula é uma região suscetível a apodrecimentos causados por fungos (toras ocas).

2. Fisiologia da árvore

Foi visto que as principais funções das células na árvore são crescimento, condução de líquidos, sustentação do vegetal e condução, transformação e armazenamento de substâncias nutritivas.

Faremos uma explanação breve e superficial destas atividades fisiológicas, ressaltando a posição do lenho no grande complexo da fisiologia, assunto tratado mais profundamente em botânica.

Crescimento

O crescimento das árvores é devido à presença de tecidos designados *meristemas* (do grego *meristos:* divisível), dotados da capacidade de produzir novas células.

O *meristema apical,* que é o responsável pelo crescimento em altura, representa uma porção ínfima da árvore e localiza-se no ápice do tronco e ramos. Por meio de sucessivas divisões celulares, novas células são acrescentadas para baixo, enquanto o tecido meristemático vai sendo deslocado

para cima. As células produzidas pelo meristema apical vão constituir os tecidos primários, como por exemplo a medula, o córtex, a epiderme etc. Nas plantas jovens, há uma predominância de crescimento apical, o que explica a forma cônica de muitas espécies como o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.-*Araucariaceae*) enquanto jovens.

O crescimento em diâmetro deve-se ao *meristema cambial,* tecido constituído por uma camada de células que se localiza entre o floema (casca interna) e o alburno (Figura 1). É o câmbio o formador dos tecidos secundários do vegetal, entre os quais se destaca o lenho ou xilema secundário, objeto de estudo da anatomia da madeira.

Distinguem-se no câmbio dois tipos de células:

- as iniciais fusiformes, que originam todos os elementos celulares axiais do lenho;
- as iniciais radiais, que produzem os elementos celulares transversais do lenho. (Figura 7.)

A formação de novas células dá-se da seguinte maneira: em uma célula do câmbio (célula-mãe ou inicial) surge uma parede num plano tangencial (periclinal), originando duas células mais estreitas, absolutamente idênticas no início. Uma das duas células mantém o seu caráter embrionário e sofre um aumento de tamanho tornando-se uma célula-mãe original. A outra célula se diferenciará em um elemento constituinte ou do lenho (xilema) ou do floema (casca interna). Se a célula que mantém o seu caráter embrionário é a mais externa das duas, a outra célula contígua irá constituir o lenho. Se for a mais interna, a outra célula irá formar o floema. (Figura 8.)

Uma vez formada, a nova célula xilemática irá sofrer um processo de diferenciação que envolve modificações na forma e tamanho, até se constituir num dos elementos típicos do lenho em questão, conforme determinação do código genético que a originou.

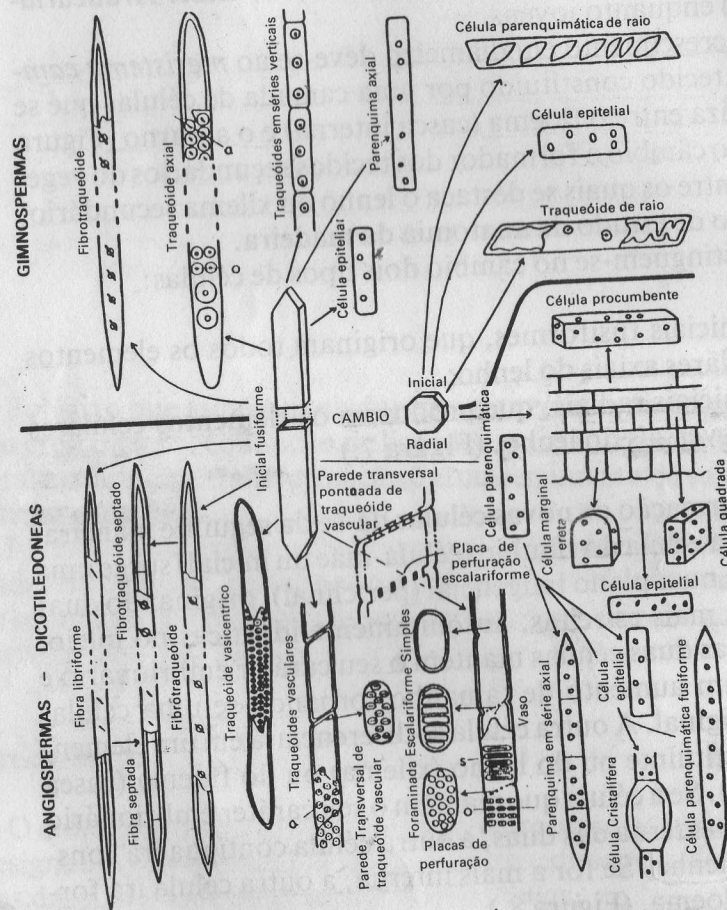



***Figura 7** — Esquema dos diferentes tipos de células do lenho, derivados das iniciais cambiais.*
Fonte: Jane, 1970.

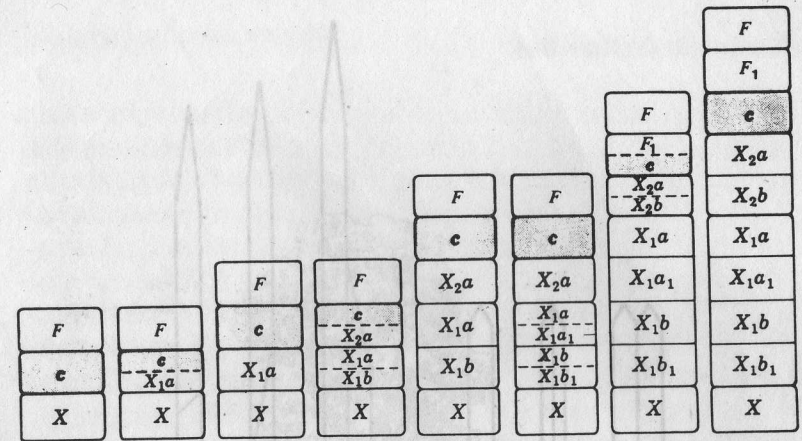



***Figura 8** — Esquema da divisão celular do câmbio para o crescimento em espessura do tronco: c - câmbio; F - floema; X - xilema.*
Fonte: Panshin & Zeeuw, 1980.

Em conseqüência da produção contínua de novas células para o interior do tronco, resulta um aumento em periferia, tornando-se também necessário um acréscimo de células no sentido tangencial. Para isso surgem paredes divisórias num plano radial (anticlinal) nas células cambiais, as quais podem ser:

- retas, originando uma estrutura organizada dos elementos celulares axiais e denominada *estrutura estratificada* (ver *Estrutura estratificada*, Figuras 9, ponto B, e 43);
- inclinadas, dando origem a uma estrutura sem organização especial destes elementos (Figura 9, ponto A).

Com exceção das células parenquimáticas (raios e parênquima axial), que armazenam substâncias nutritivas e apresentam grande longevidade, apenas as células mais jovens do lenho próximas ao câmbio são células vivas, apresentando núcleos e conteúdo celular. As demais morrem precocemente, perdendo o seu protoplasma; tornam-se simplesmente tubos ocos, nos quais apenas a estrutura da parede celular é mantida.

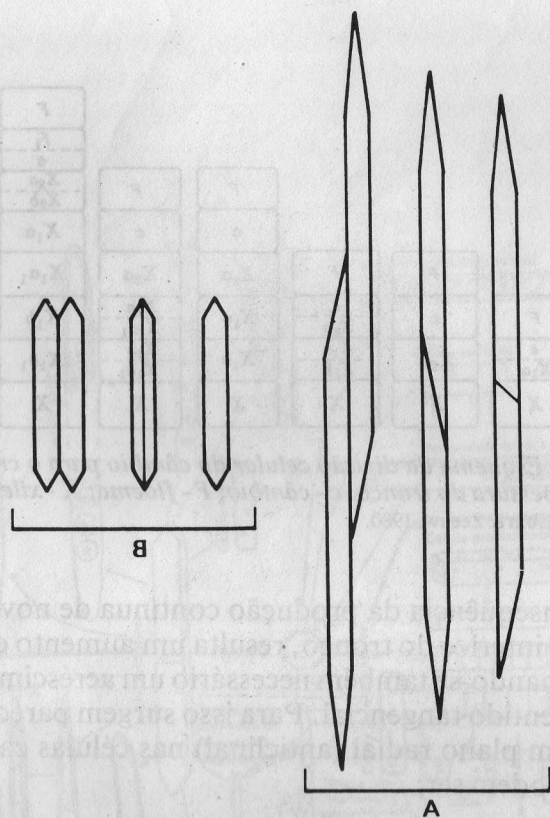



Figura 9 — Esquema da divisão celular do câmbio para o crescimento em periferia do tronco: A — Divisão que origina uma estrutura normal; B — Divisão celular que dá origem à estrutura estratificada.
Fonte: Brown & Panshin, 1949.

Como já foi estudado, os meristemas são altamente influenciados por condições climáticas, fato que origina a formação de anéis de crescimento (ver *Anéis de crescimento*).

Os dois meristemas, apical e cambial, estão intimamente unidos, formando um sistema fisiológico único na árvore, e as camadas de crescimento no tronco são como uma série de cones sobrepostos uns sobre os outros. Eis por que é importante, para se determinar a idade da árvore, que a amostra seja retirada a pouca altura do fuste. (Figura 10.)

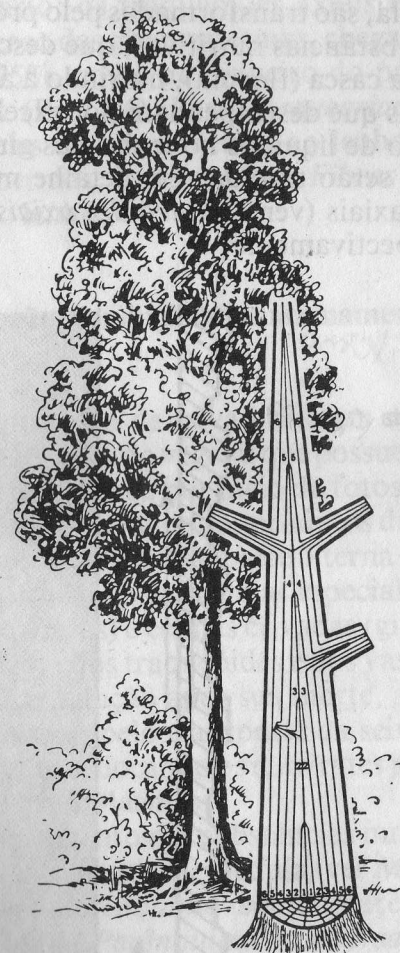



Figura 10 — Disposição esquemática das camadas de crescimento no tronco.
Fonte: Kozlowski, 1971.

Condução de líquidos

As substâncias retiradas do solo pelas raízes (água e sais minerais) ascendem na forma de seiva bruta pelas regiões externas do alburno. Ao atingir as partes do vegetal que possuem clorofila, são transformadas pelo processo da fotossíntese em substâncias nutritivas, que descem pelas regiões internas da casca (floema), nutrindo a árvore (Figura 11). As células que desempenham por excelência a função de condução de líquidos no lenho das gimnospermas e angiospermas serão tratadas em detalhe mais adiante: os traqueóides axiais (ver *Traqueóides axiais*) e os vasos (ver *Vasos*), respectivamente.

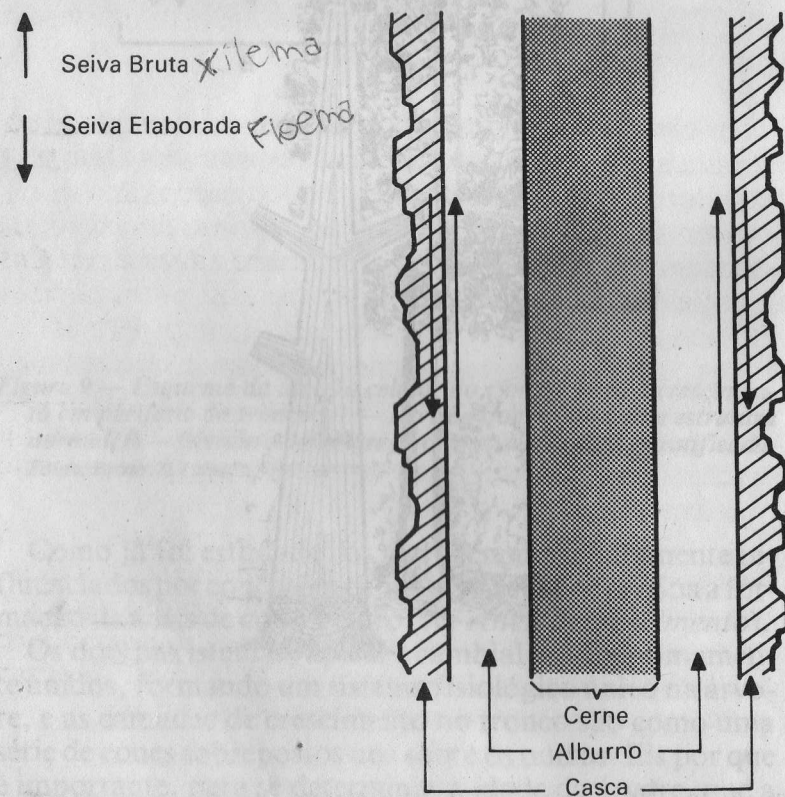



Figura 11 — Condução de líquidos no tronco.

Sustentação do vegetal

A função de sustentação é desempenhada nas gimnospermas e angiospermas principalmente pelas células alongadas que constituem, via de regra, a maior parte do xilema secundário: os traqueóides axiais (ver *Traqueóides axiais*), no caso das gimnospermas, chegam a uma proporção de até 95%, como no pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.-*Araucariaceae*), particularmente aqueles correspondentes ao lenho tardio; no caso das angiospermas, as fibras (ver *Fibras*) representam de 20 a 80% do lenho.

Transformação, condução e armazenamento de substâncias nutritivas

A transformação de seiva bruta em seiva elaborada se processa nos órgãos do vegetal que possuem clorofila, principalmente nas folhas, por meio da fotossíntese.

Uma vez transformados os produtos da assimilação, seu transporte se dá no floema, parte interna da casca (ver *Casca*, Figuras 1 e 11), pelas células especiais: os tubos crivados (angiospermas) e células crivadas (gimnospermas).

Ao contrário dos traqueóides e dos vasos, que assumem a função de condução após sua morte, as células do floema, responsáveis pelo transporte da seiva elaborada, são células vivas, translocando os nutrientes pela pressão osmótica de seus protoplasmas.

O armazenamento das substâncias nutritivas é feito nos tecidos parenquimáticos: medula (ver *Medula*), parênquima axial (ver *Parênquima axial*) e parênquima radial ou raios (ver *Raios e Parênquima transversal*). Ocasionalmente, fibras vivas, principalmente as septadas (ver *Fibras septadas*), podem armazenar substâncias nutritivas.

3. Planos anatômicos de corte

Por se tratar de um organismo heterogêneo constituído por células dispostas e organizadas em diferentes direções, o aspecto da madeira varia de acordo com a face observada. Para estudos anatômicos, adotam-se os seguintes planos convencionais de corte:

- transversal (X): perpendicular ao eixo da árvore;
- longitudinal radial (R): paralelo aos raios ou perpendicular aos anéis de crescimento;
- longitudinal tangencial (T): tangenciando os anéis de crescimento, ou perpendicular aos raios. (Figura 12.)

Além da aparência, também o comportamento físico-mecânico da madeira difere em cada um destes três sentidos, fenômeno conhecido como *anisotropia*. Por apresentar esta peculiaridade, a madeira é um material anisotrópico.

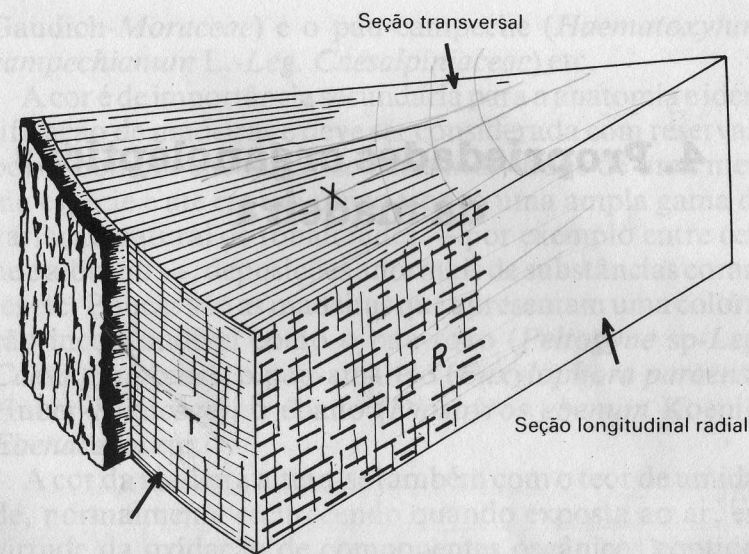



Figura 12 — Planos anatômicos de corte.
Fonte: Desch, 1962.

4. Propriedades organolépticas da madeira

Cor

Esta propriedade tem um significado todo especial para os brasileiros, uma vez que foi da cor avermelhada da madeira de uma espécie nativa, o pau-brasil (*Guilandina echinata* (Lam.) Spreng.-*Leg. Caesalpiniaceae*), que se originou o nome de seu país.

A variação da cor natural da madeira é devida à impregnação de diversas substâncias orgânicas nas células e nas paredes celulares (tanino, resinas etc.), depositadas de forma mais acentuada no cerne. Alguns destes produtos são tóxicos para fungos, insetos e agentes marinhos xilófagos, razão por que freqüentemente madeiras de cores escuras apresentam grande durabilidade.

A *cor* da madeira é de grande importância sob o ponto de vista prático pela influência que exerce sobre o seu valor decorativo. Substâncias corantes, quando presentes em elevadas concentrações, podem ser extraídas comercialmente e aplicadas na tintura de tecidos, couros etc., como, por exemplo, o pau-brasil, a taiúva (*Chlorophora tinctoria*

Gaudich-*Moraceae*) e o pau-campeche (*Haematoxylum campechianum* L.-*Leg. Caesalpiniaceae*) etc.

A cor é de importância secundária para a anatomia e identificação de madeiras e deve ser considerada com reservas, pois é comum encontrar-se entre indivíduos de uma mesma espécie e até em um único tronco uma ampla gama de variação natural de tonalidades — por exemplo entre cerne e alburno —, deposições anormais de substâncias corantes etc. Poucas são as madeiras que apresentam uma coloração inconfundível como o pau-roxo (*Peltogyne* sp-*Leg. Caesalpiniaceae*), o pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber-*Rutaceae*), o ébano (*Diospyros ebenum* Koenig-*Ebenaceae*) etc.

A cor da madeira altera-se também com o teor de umidade, normalmente escurecendo quando exposta ao ar, em virtude da oxidação de componentes orgânicos contidos no lenho; quando exposta ao sol; quando em contato com determinados metais ou quando atacada por certos fungos e bactérias. Finalmente a cor é passível de modificações artificiais por meio de tinturas e descolorações (por exemplo, mudanças de cor produzidas pela água ou vapor). Sob este aspecto, muitas espécies são alteradas e comercializadas como madeiras valiosas, daí a importância de uma identificação fundamentada em caracteres anatômicos peculiares e inalteráveis. Devido à sua subjetividade, ao se descrever a aparência macroscópica de madeiras, recomenda-se o uso da tabela de cores de Munsell para tecidos vegetais (MUNSELL COLOR — *Munsell color chart for plant tissues*. Baltimore, 1952) ou para solos (*Munsell soil color chart*. Baltimore, 1975).

Cheiro

O *cheiro* é uma característica difícil de ser definida. O odor típico que algumas madeiras apresentam deve-se à presença de certas substâncias voláteis que se concentram principalmente no cerne. Devido à volatilidade destes mate-

riais, o cheiro tende a diminuir mediante a exposição, mas pode ser realçado raspando-se, cortando-se ou umedecendo-se a madeira seca.

O odor natural da madeira pode ser agradável como o do sassafrás (*Ocotea pretiosa* (Nees) Mez-*Lauraceae*), do pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm.-*Lauraceae*), do cedro (*Cedrela fissilis* Vell.-*Meliaceae*), do cedro-rosa (*Cedrela odorata* L.-*Meliaceae*), ou desagradável como o de algumas canelas do gênero *Nectandra* (*Lauraceae*), valorizando ou limitando a sua utilização. Na confecção de embalagens para chá e produtos alimentícios, as madeiras devem ser inodoras. No caso específico de charutos, entretanto, o sabor melhora quando estes são acondicionados em caixas de madeira de cedro (*Cedrela* sp-*Meliaceae*).

Por seu agradável aroma, algumas espécies são exploradas comercialmente na fabricação de artigos de perfumaria como o cedro-rosa e o sândalo (*Santalum album* L.-*Santalaceae*). Segundo Panshin & Zeeuw, 1980, a madeira deste último é usada no Oriente como incenso e o cinamomo-cânfora (*Cinnamomum camphora* (L.) Presl.-*Lauraceae*) é empregado na confecção de baús para armazenamento de lãs e peles, por sua propriedade de repelir insetos.

Gosto

O *gosto* e o cheiro são propriedades intimamente relacionadas por se originarem das mesmas substâncias. Na prática, só excepcionalmente o sabor contribui para a identificação e distinção de espécies. Como exemplo de madeiras brasileiras com sabor característico temos o angelim-amargoso (*Vatairea guianensis* Aubl.-*Leg. Fabaceae*), o marupá (*Simarouba amara* Aubl.-*Simaroubaceae*) etc. De um modo geral, madeiras com elevado teor de tanino apresentam sabor amargo.

O gosto pode excluir a utilização da madeira para determinados fins, como embalagens para alimentos, palitos de dente, de picolé e pirulitos, brinquedos para bebês etc.

Grã

O termo *grã* refere-se à orientação geral dos elementos verticais constituintes do lenho em relação ao eixo da árvore (ou peças de madeira). Em decorrência do processo de crescimento, sob as mais diversas influências, há uma grande variação natural no arranjo e direção dos tecidos axiais, originando vários tipos de grãs:

Grã direita (linheira ou reta)

Este tipo, que é considerado o normal, apresenta os tecidos axiais orientados paralelamente ao eixo principal do tronco ou peças de madeira. É apreciado na prática por contribuir para uma elevada resistência mecânica, e por ser de fácil desdobro e processamento, bem como por não provocar deformações indesejáveis por ocasião da secagem da madeira. Sob o ponto de vista decorativo, entretanto, as superfícies se apresentarão com um aspecto bastante regular e sem figuras ornamentais especiais.

Grãs irregulares

Incluem madeiras cujos elementos axiais apresentam variações de inclinação quanto ao eixo longitudinal do tronco ou peças de madeira. Dentro das grãs irregulares distinguem-se as seguintes variantes:

- *Grã espiral (torcida)* — É determinada pela orientação espiral dos elementos axiais constituintes da madeira em relação ao eixo do tronco. Em árvores vivas, sua presença pode ser muitas vezes denotada pela aparência espiralada da casca, podendo, no entanto, estar oculta sob uma casca de aspecto normal. (Figura 13.)
Havendo uma volta completa em torno do eixo da árvore em menos de 10 metros, a madeira apresenta limitações industriais, sobretudo como material de construção.

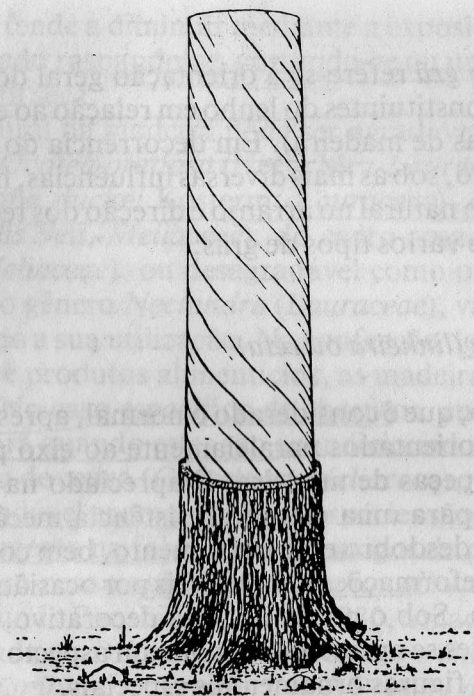



Figura 13* — *Tronco com grã espiral sob um casca com orientação normal dos tecidos.
Fonte: Brown *et al.*, 1949.

A conseqüência deste fato é o aparecimento de grãs irregulares nas peças de madeira que se originam de árvores com esta característica, especialmente do tipo oblíquo e entrecruzado, quando a direção da inclinação se altera de períodos em períodos, com sérias conseqüências para utilização: diminuição da resistência mecânica, deformações de secagem e dificuldades de se conseguir um bom acabamento superficial.
Não se conhece ao certo qual a origem deste fenômeno. O espiralamento parece ser um princípio construtivo do vegetal, pois todas as árvores o apresentam em maior ou menor grau e supõe-se ser uma forma de atender com eficiência o processo fisiológico da transpiração e distribuição da água pela copa. Além desta teoria, a ação do vento, o desenvolvimento da copa, o movimento solar, a rotação da terra, a deposição irregular de nutrientes no solo, as divisões pseudotransversais das iniciais fusiformes do câmbio etc. também são fatores considerados para justificar esta formação.

- *Grã entrecruzada (revessa)* — Os tecidos axiais de madeiras caracterizadas por este tipo de grã apresentam-se orientados em diversas direções. Originam-se como acima mencionado, de árvores com grã espiral nas quais a direção de inclinação sofreu alterações periódicas. A resistência mecânica não é muito afetada, mas a madeira contendo esta característica apresenta problemas de deformações e empenamentos durante a secagem e é de difícil trabalhabilidade. Sob o aspecto estético, no entanto, produz desenhos muito atraentes. (Figura 14.)
- *Grã ondulada (crespa)* — Neste tipo, os elementos axiais do lenho alteram constantemente sua direção, aparecendo como uma linha sinuosa regular. As conseqüências para a utilização da madeira são praticamente as mesmas da grã entrecruzada. As superfícies longitudinais apresentam faixas escuras e claras, alternadas e de belo efeito decorativo. Este aspecto é bastante comum em madeiras de imbuia (*Ocotea porosa* (Nees et Mart. ex Nees) L. Barroso-*Lauraceae*).
- *Grã inclinada, diagonal ou oblíqua* — É o desvio angular que apresentam os elementos axiais constituintes da madeira com respeito ao eixo longitudinal da peça. É proveniente de árvores com troncos excessivamente cônicos, crescimento excêntrico etc. (ver *Conicidade acentuada e Crescimento excêntrico*).
Este tipo de grã afeta significativamente as propriedades tecnológicas da madeira: quanto maior o desvio, menor a resistência mecânica e mais acentuada a ocorrência de deformações de secagem.

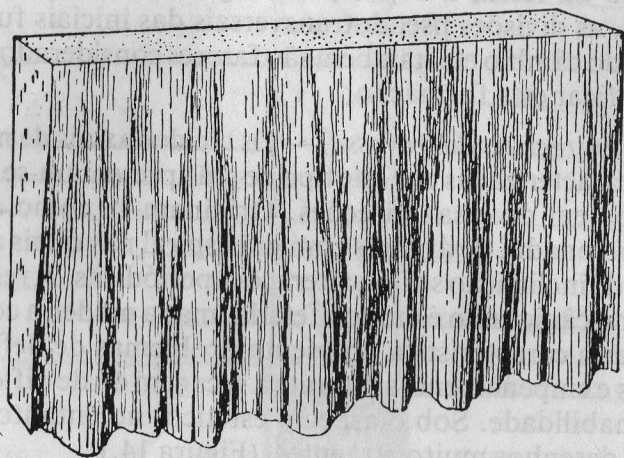
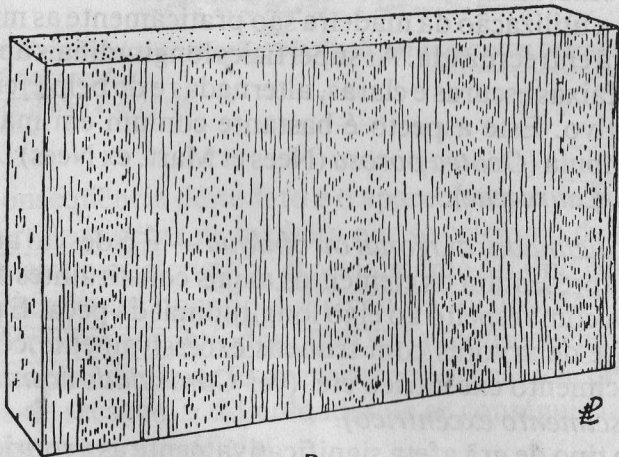



Figura 14 — Peças de madeira com grã entrecruzada: A — Superfície quebrada; B — Superfície serrada.
Fonte: Brown *et al.*, 1949.

Textura

É o efeito produzido na madeira pelas dimensões, distribuição e percentagem dos diversos elementos estruturais constituintes do lenho no seu conjunto. Nas angiospermas é determinada sobretudo pelo diâmetro dos vasos e largura dos raios; nas gimnospermas, pela maior ou menor nitidez, espessura e regularidade dos anéis de crescimento.

Encontramos os seguintes tipos de textura de acordo com o grau de uniformidade da madeira:

- grosseira ou grossa;
- média;
- fina.

No primeiro caso estão incluídas as madeiras com poros grandes e visíveis a olho nu, parênquima axial contrastante ou raios largos. Exemplos: carvalho (*Quercus* sp.-*Fagaceae), louro-faia (Roupala* sp-*Proteaceae*), acapu (*Vouacapoua americana* Aubl.-*Leg. Caesalpiniaceae*) etc.

Do último tipo fazem parte as madeiras cujos elementos são de dimensões muito pequenas e se encontram principalmente distribuídos de forma difusa no lenho, conferindo-lhe uma superfície homogênea e uniforme. Exemplos: pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.-*Rutaceae*), pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber-*Rutaceae*) etc.

No caso das gimnospermas, quando o contraste entre as zonas de lenho primaveril e outonal é bem marcante, a madeira apresenta-se de constituição heterogênea e pode ser dita de textura grossa, como por exemplo no pínus (*Pinus elliottii* Engelm.-*Pinaceae*), ao passo que, se o contraste for pouco evidente ou indistinto, a sua superfície será uniforme e sua textura fina, como por exemplo no pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii* Klotzsch.-*Podocarpaceae*).

Brilho

É a capacidade de um corpo refletir a luz incidente.

A face longitudinal radial é sempre a mais reluzente pelo efeito das faixas horizontais dos raios.

A importância do brilho é principalmente de ordem estética, e esta propriedade pode ser acentuada artificialmente por polimentos e acabamentos superficiais.

Sob o ponto de vista de identificação e distinção de madeiras, esta característica é irrelevante.

Desenho

É o termo usado para descrever a aparência natural das faces da madeira que resulta das várias características macroscópicas: cerne, alburno, cor, grã, e principalmente de dois elementos estruturais — anéis de crescimento e raios — e, obviamente, do plano de corte em si.

Desenhos especialmente atraentes têm sua origem em certas anormalidades como: grã irregular, galhas, troncos aforquilhados, nós, crescimento excêntrico, deposições irregulares de substâncias corantes etc.

Certos tipos de desenhos possuem denominações especiais como: figura prateada (*silver figure*) pelo efeito dos raios; olho de passarinho (*bird eye*), causado pela presença de brotos adventícios etc.

Massa específica

A *massa específica* é uma propriedade física, sendo portanto objeto de estudo na área de tecnologia da madeira. Entretanto, como o peso da madeira é uma característica que impressiona os órgãos sensoriais e é de grande valor na identificação e distinção de madeiras, será considerado neste capítulo.

A variação natural de peso em madeiras de iguais dimensões reflete a quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume ou a quantidade de espaços vazios nelas existentes (sendo que a presença de incrustações e conteúdos como gomo-resinas, cristais, sílica etc., quando em grande quantidade, também pode aumentar o peso da madeira). Como a composição anatômica (detalhes celulares, arranjo e percentagem dos diversos tecidos componentes do lenho) é peculiar a cada espécie, a massa específica da madeira apresenta uma variação natural de 0,13 a 1,4 g/cm^3. Correspondem a estes valores extremos a balsa (*Ochroma lagopus* Sw.-*Bombacaceae*) e a piratinera (*Brosimun guianense* (Aubl.) Huber-*Moraceae*), respectivamente. Assim sendo, é possível, em alguns casos, apenas levando em consideração o peso, distinguir duas madeiras até de olhos fechados.

É interessante lembrar que a massa específica varia de acordo com vários fatores: cerne, alburno, lenho inicial, lenho tardio e, sobretudo, com o teor de umidade. Portanto, uma comparação, para ser válida, deve ser feita nas mesmas condições.

A massa específica é a propriedade física mais importante da madeira, pois dela dependem estreitamente suas propriedades tecnológicas — assunto, como já acima mencionado, de competência da tecnologia da madeira.

Dureza

A *dureza* é uma propriedade mecânica intimamente associada à massa específica. Pode ser grosseiramente avaliada pela impressão da unha nas faces da madeira, contribuindo também para a distinção de espécies.

5. Grupos vegetais que produzem madeiras

Engler (1954 e 1964) agrupou os vegetais em um sistema filogenético que engloba dezessete divisões. Abaixo estão relacionadas as de interesse para a anatomia da madeira por produzirem xilema secundário, citando-se apenas as que incluem espécies viventes.

XVI — Divisão Gimnospermae

1. Classe *Cycadopsida*

   Ordem { *Cycadales*, *Ginkgoales* }

   Famílias { *Cycadaceae*, *Ginkgoaceae* }

2. Classe *Coniferopsida*

   Ordem *Coniferae*

   Famílias { *Pinaceae*, *Taxodiaceae*, *Cupressaceae*, *Podocarpaceae*, *Araucariaceae* }

3. Classe *Taxopsida*

   Ordem *Taxales*

   Família *Taxaceae*

4. Classe *Chlamydospermae*

   Ordem *Gnetales*

   Famílias { *Welwitschiaceae*, *Ephedraceae*, *Gnetaceae* }

XVII — Divisão Angiospermae

1. Classe *Dicotyledoneae*

Por apresentarem marcantes diferenças estruturais, as gimnospermas e as angiospermas estão botanicamente separadas em grupos distintos. Nas primeiras estão incluídas as árvores que apresentam estróbilos unissexuais (cones), enquanto que das angiospermas fazem parte as plantas que apresentam flores comuns e sementes dentro de frutos. Neste grupo são as dicotiledôneas que respondem pela produção de madeiras. Vulgarmente as gimnospermas são denominadas *coníferas,* mas, como se pôde ver, as coníferas constituem apenas um grupo dentro desta divisão. As angiospermas dicotiledôneas costumam ser chamadas simplesmente de *folhosas.* É interessante lembrar que no Brasil existem apenas três coníferas nativas: pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.-*Araucariaceae*) e, sob o nome comum de pinheiro-bravo, as duas espécies *Podocarpus sellowiii* Klotzsch e *Podocarpus lambertii* Klotzsch.-*Podocarpaceae.*

Além das diferenças botânicas existentes entre gimnospermas e angiospermas, a estrutura anatômica de suas madeiras é também distinta, como poderá ser constatado mais adiante.

6. Estrutura anatômica da madeira

Estrutura da parede celular

No processo de divisão celular, a primeira membrana de separação a aparecer entre o par de novas células é a lamela média, composta principalmente de pectato de cálcio e magnésio, cuja função é unir as células umas às outras. Sobre esta membrana acumulam-se posteriormente no interior da célula microfibrilas de celulose, formando uma trama irregular, que constitui a parede primária, dotada de grande elasticidade. Esta parede acompanha o crescimento da célula durante a sua diferenciação. Concluído este processo, depositam-se junto à membrana primária microfibrilas de celulose, obedecendo a certa orientação, que destaca três camadas distintas, constituintes da parede secundária da célula: a S_1, S_2 e S_3. Paralelamente à deposição da parede secundária, tem início o processo de lignificação, que é mais intenso na lamela média e parede primária. Células meristemáticas e a maioria das parenquimáticas não são lignificadas e não apresentam parede secundária. Em muitas células, revestindo o lume, observa-se ainda uma

camada verrucosa, atribuída à aderência de restos do protoplasma. Uma observação minuciosa de seus detalhes estruturais só pode ser feita com microscópio eletrônico. (Figura 15.)

Os elementos estruturais fundamentais da parede celular são portanto as microfibrilas, que estão embebidas em uma massa básica denominada *matrix*. Esta é composta principalmente de pectina e hemicelulose, e as microfibrilas, de celulose. As microfibrilas são por sua vez formadas por grupos de fibrilas elementares, que encerram mais ou menos 36 cadeias de celulose. Feixes de microfibrilas constituem as lamelas da parede celular, visíveis sob microscópio ótico. (Figura 16.)

A espessura da parede secundária varia consideravelmente entre as espécies e entre as diferentes células. Esta parede é normalmente mais espessa nos elementos celulares, cujas funções são mais mecânicas e de condução, do que nos que exercem primordialmente função de armazenamento, podendo inclusive — como acima mencionado — faltar completamente nestes últimos.

Na camada S_3 de certas células podem ocorrer espessamentos especiais como:

- *Espessamento em espiral:* saliências semelhantes a um cordão fino que contorna espiraladamente o lume das células (Figuras 17, ponto D, e 44); exemplos: *Pseudotsuga* sp.-*Pinaceae*, *Ilex* sp.-*Aquifoliaceae* etc., constituindo caráter de grande valor diagnóstico. Quando observados ao microscópio, os elementos celulares com esta característica apresentam um aspecto reticulado pelo efeito da transparência das seções delgadas da madeira.
- *Crassulas ou barras de Sanio:* barras horizontais localizadas nas paredes radiais dos traqueóides axiais (ver *Traqueóides axiais*) da maioria das gimnospermas, atribuídas a um reforço da parede primária nas regiões vizinhas das pontoações. Exemplos: pínus (*Pinus elliottii* Engelm.-*Pinaceae*) e abeto (*Picea abies* (L.) Karst.-*Pinaceae*) (Figura 17, ponto A).

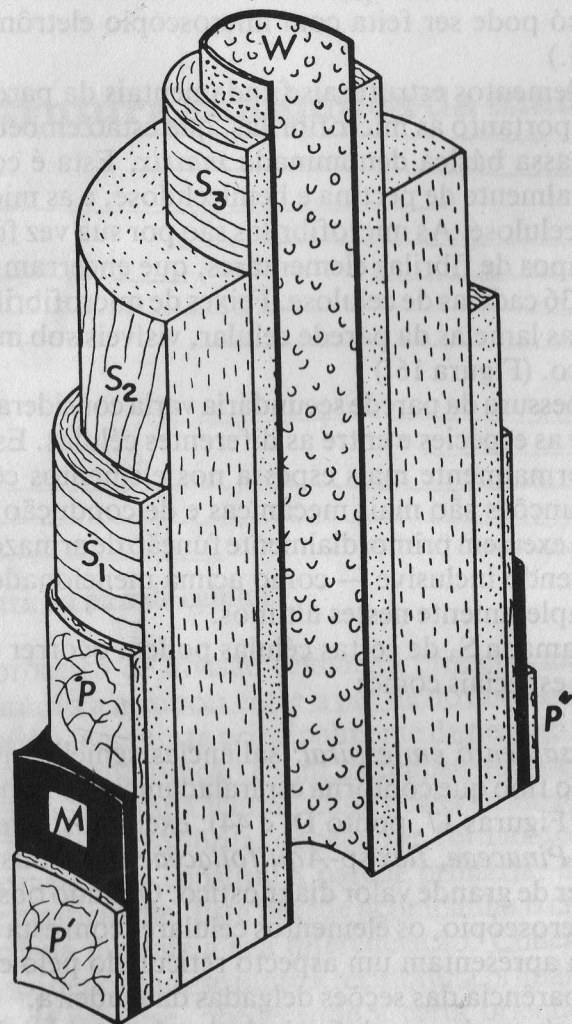



Figura 15 — Parede de um traqueóide axial mostrando suas diversas camadas constituintes e orientação característica das microfibrilas de celulose: M — Lamela média; P — Parede primária; P' e P" — Paredes primárias das células adjacentes; S_1, S_2, S_3 — Camadas da parede secundária; W — Camada verrucosa.
Fonte: Ward et al. *Apud:* Siau, 1971.

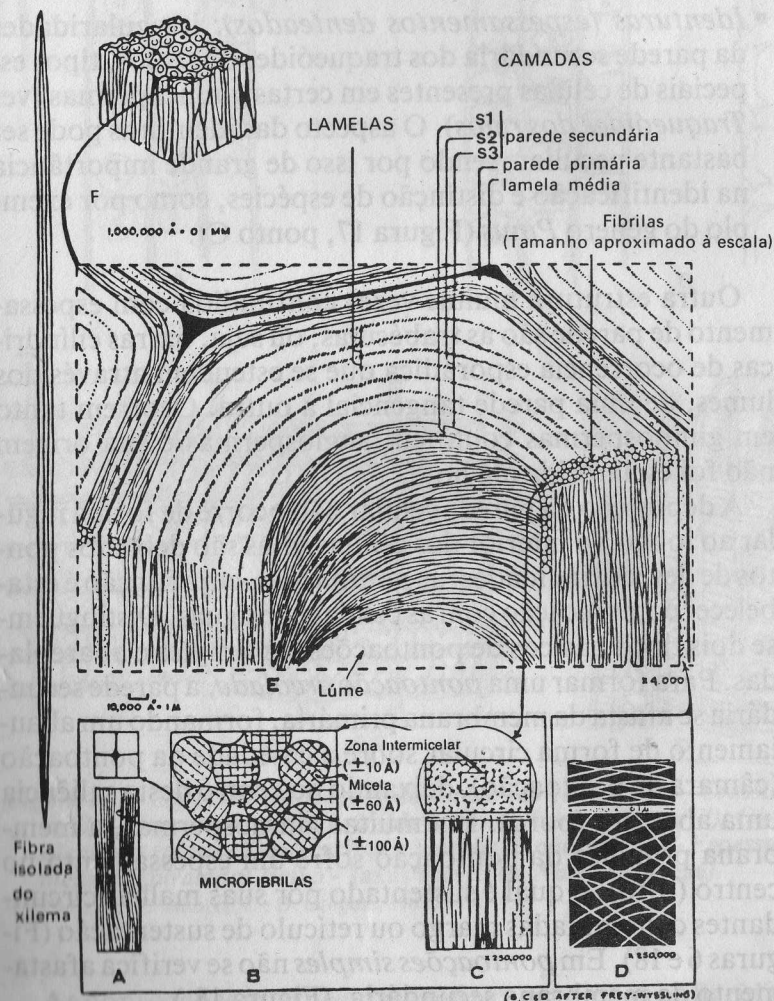



Figura 16 — Estrutura da parede celular.
Fonte: Frey-Wyssling. *Apud:* Desch, 1962.

• *Espessamento calitrisóide:* pares de espessamentos em barras que atravessam horizontalmente as pontoações areoladas dos traqueóides axiais (Figura 17, ponto B). Esta característica é específica do gênero *Callitris* (*Cupressaceae*), do qual deriva o seu nome.
• *Identuras (espessamentos denteados):* irregularidades da parede secundária dos traqueóides dos raios, tipos especiais de células presentes em certas gimnospermas (ver *Traqueóides dos raios*). O aspecto das identuras pode ser bastante peculiar, sendo por isso de grande importância na identificação e distinção de espécies, como por exemplo do gênero *Pinus* (Figura 17, ponto C).

Outra estrutura muitas vezes confundida com espessamento de parede são as trabéculas, ou seja, barras cilíndricas de ocorrência esporádica que se estendem através dos lumes, de uma parede tangencial à outra. Ocorrem tanto em gimnospermas como em angiospermas e sua origem não foi esclarecida até hoje.

A deposição da parede celular não ocorre de forma regular ao longo do interior das células, mas são deixados pontos de descontinuidades: as *pontoações,* cuja função é estabelecer comunicação com as células contíguas. Distinguem-se dois tipos básicos de pontoações: as simples e as areoladas. Para formar uma *pontoação areolada,* a parede secundária se afasta da membrana primária, formando um abaulamento de forma circular sobre a cavidade da pontoação (câmara da pontoação), deixando no centro desta saliência uma abertura (poro). Em muitas gimnospermas, a membrana primária da pontoação sofre um espessamento no centro (toro), o qual é sustentado por suas malhas circundantes denominadas margo ou retículo de sustentação (Figuras 6 e 18). Em *pontoações simples* não se verifica afastamento da membrana secundária. (Figura 18.)

As pontoações areoladas apresentam grande variação morfológica. Seu aspecto, distribuição, extensão, profundidade e detalhes estruturais têm muita importância na identificação de madeiras. (Figura 19.)

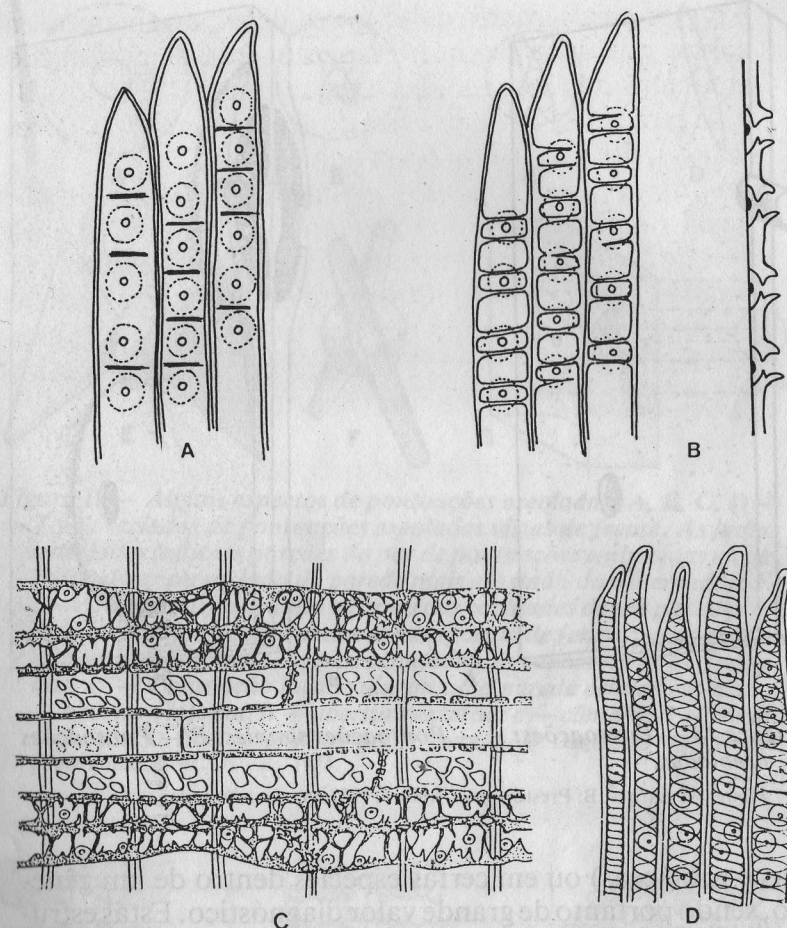



Figura 17 — Espessamentos especiais da parede celular: A — Crassula; B — Espessamento calitrisóide (visto de frente e de perfil); C — Identuras (pínus - **Pinus caribaea** *Morelet*-**Pinaceae***); D — Espessamentos espiralados (teixo -* **Taxus brevifolia** *Nutt.*-**Taxaceae***).*
Fonte: A e B: autores; C e D: Greguss, 1965.

As pontoações guarnecidas constituem uma peculiaridade e são resultantes de projeções da parede secundária na câmara da pontoação (Figura 20). Este tipo especial de pontoação areolada surge nas paredes dos vasos (ver *Vasos*) de determinadas famílias botânicas (exemplos: legumino-

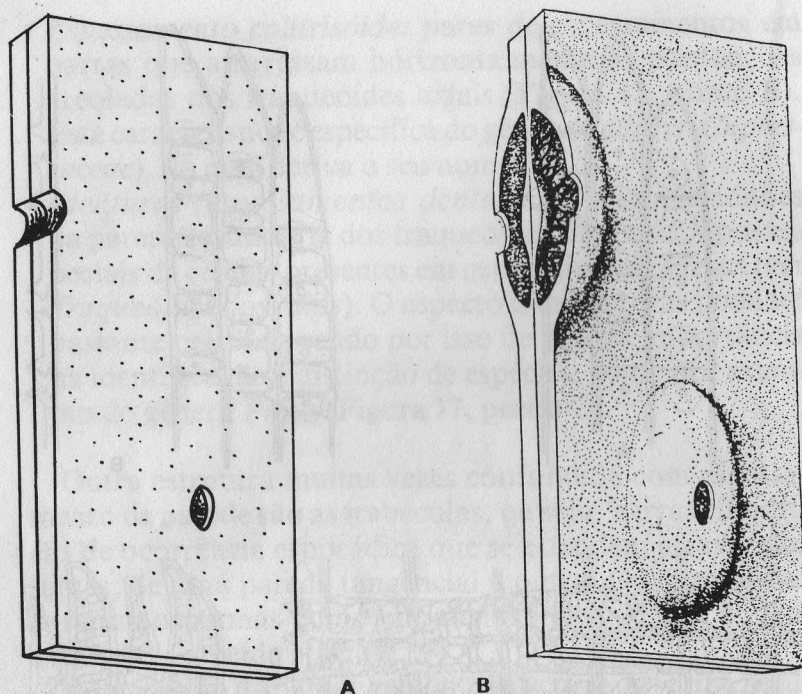



Figura 18 — Pontoações: A — Pontoações simples; B — Pontoações areoladas.

Fonte: A: autores, B: Preston *apud* Treiber, 1957, versão adaptada.

sas e rubiáceas) ou em certas espécies dentro de um gênero, sendo portanto de grande valor diagnóstico. Estas estruturas situam-se no limite do poder de resolução do microscópio ótico, devendo-se recorrer, sempre que possível, ao microscópio eletrônico para uma observação mais minuciosa de seus detalhes morfológicos.

Normalmente, à pontoação de uma célula corresponde outra pontoação da célula adjacente, formando um par de pontoações. Quando isto não ocorre, a pontoação é dita *cega*. A forma da descontinuidade da parede secundária pode originar os seguintes tipos de pares de pontoações constantes da figura 21.

Pares de pontoações simples ocorrem por exemplo entre células parenquimáticas (ver *Parênquima axial*); pares de

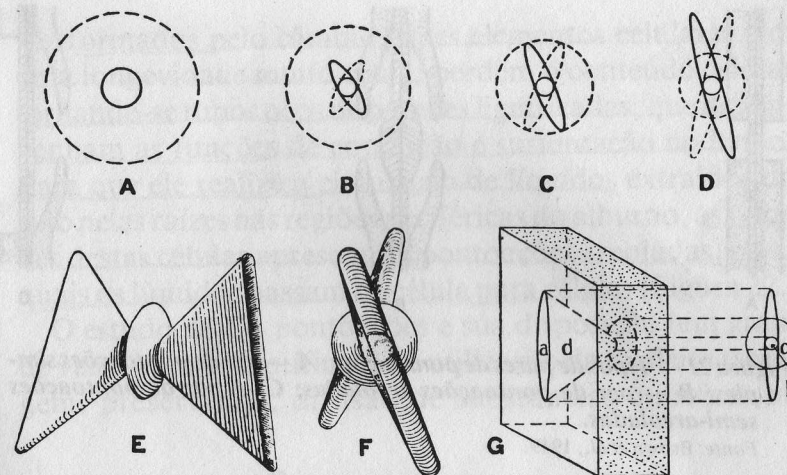



***Figura 19** — Alguns aspectos de pontoações areoladas: A, B, C, D — Tipos variados de pontoações areoladas vistas de frente. As linhas tracejadas indicam porções do par de pontoações embebidas na parede celular ou no lado da parede mais afastado do observador; E, F — Diagrama mostrando a forma das cavidades de um par de pontoações: as aberturas internas são em forma de fendas, as pequenas câmaras em forma de cúpulas achatadas, os canais estreito-afunilados; G — Pontoação localizada em uma parede celular espessa: a — abertura interna; b — abertura externa; c — câmara; d — canal.*

Fonte: A, B, C, D: Brown *et al.*, 1949; E, F: Eames & MC Daniels, 1974; G: Record apud: Eames & MC Daniels, 1974.

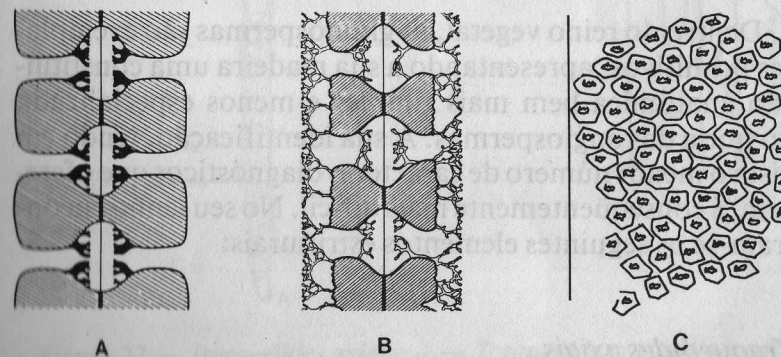



***Figura 20** — Pontoações intervasculares guarnecidas: A e B — Vistas de perfil; C — Vistas de frente.*

Fonte: A e B: Bosshard, 1947; C: autores.

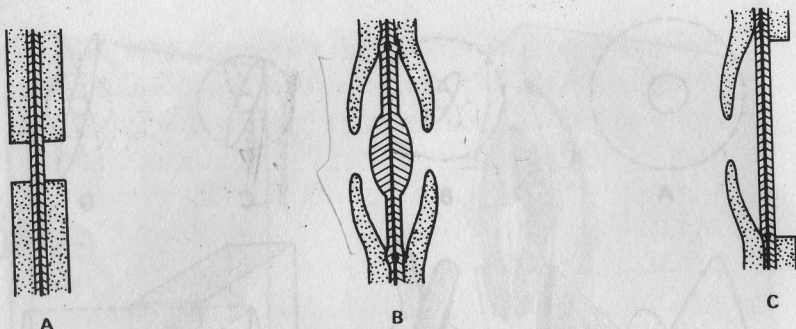



Figura 21 — Tipos de pares de pontoações: A — par de pontoações simples; B — par de pontoações areoladas; C — par de pontoações semi-areoladas.
Fonte: Brown *et al.*, 1949.

pontoações areoladas, entre traqueóides axiais (ver *Traqueóides axiais*); e pares de pontoações semi-areoladas resultam da comunicação entre uma célula com pontoação simples e outra com pontoação areolada, como entre um traqueóide ou elemento de vaso e uma célula parenquimática.

Estrutura da madeira de gimnospermas

Dentro do reino vegetal, as gimnospermas são exemplares primitivos, apresentando a sua madeira uma constituição anatômica bem mais simples e menos especializada do que a das angiospermas. A sua identificação, tendo em vista o menor número de caracteres diagnósticos que oferecem, é conseqüentemente mais difícil. No seu lenho encontram-se os seguintes elementos estruturais:

Traqueóides axiais

São células alongadas e estreitas, mais ou menos pontiagudas, que ocupam até 95% do volume da madeira. Uma

vez formados pelo câmbio, estes elementos celulares têm uma longevidade muito curta; perdem o conteúdo celular tornando-se tubos ocos de paredes lignificadas, que desempenham as funções de condução e sustentação no lenho. Para que ele realize a circulação de líquidos extraídos do solo pelas raízes nas regiões periféricas do alburno, as paredes destas células apresentam pontoações areoladas, pelas quais os líquidos passam de célula para célula. (Figura 22.)

O estudo destas pontoações e sua disposição tem grande valor para a identificação e utilização da madeira (secagem, preservação, difusão de substâncias químicas na

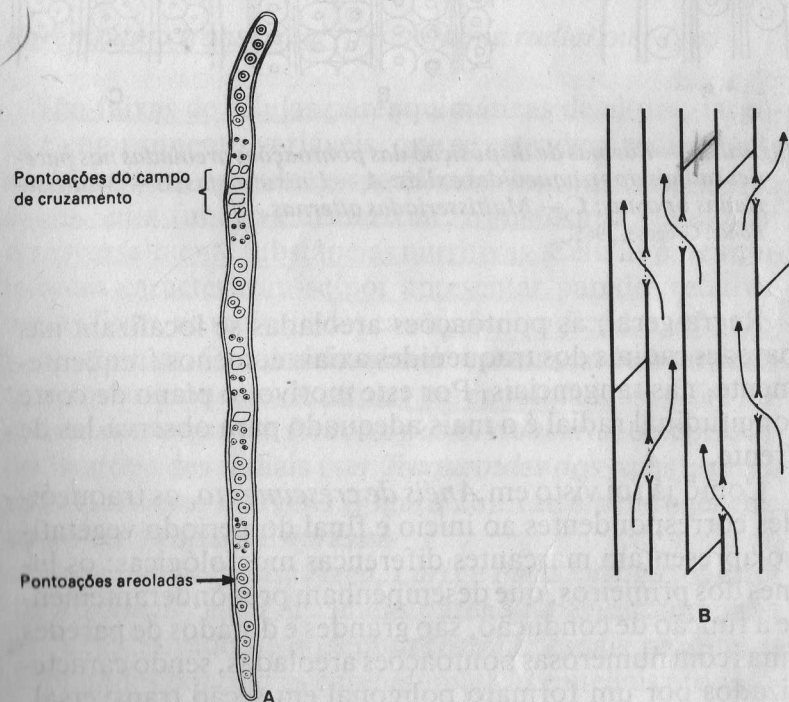



Figura 22 — Traqueóides axiais: *A* — Traqueóide axial com pontoações em suas paredes radiais; *B* — Representação esquemática da circulação de líquidos através das pontoações areoladas dos traqueóides axiais.
Fonte: A: Eames & MC Daniels, 1974; B: autores.

fabricação de papel etc.). Podem elas estar dispostas ou organizadas conforme consta da figura 23.

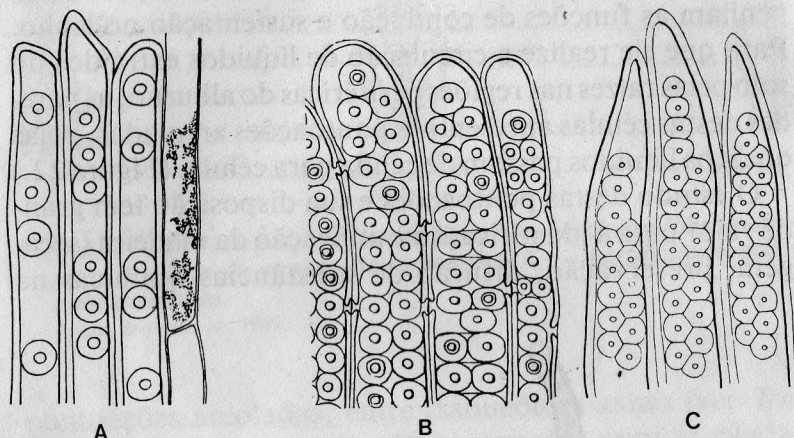



Figura 23 — Formas de disposição das pontoações areoladas nas paredes radiais dos traqueóides axiais: A — Unisseriadas; B — Multisseriadas opostas; C — Multisseriadas alternas.
Fonte: Greguss, 1965.

Regra geral, as pontoações areoladas se localizam nas paredes radiais dos traqueóides axiais e, menos freqüentemente, nas tangenciais. Por este motivo, o plano de corte longitudinal radial é o mais adequado para observá-las de frente.

Como já foi visto em *Anéis de crescimento*, os traqueóides correspondentes ao início e final do período vegetativo apresentam marcantes diferenças morfológicas: os lumes dos primeiros, que desempenham preponderantemente a função de condução, são grandes e dotados de paredes finas com numerosas pontoações areoladas, sendo caracterizados por um formato poligonal em seção transversal. Os traqueóides de lenho tardio, que exercem mais acentuadamente a função de sustentação, apresentam lumes pequenos, paredes espessas com poucas pontoações, destacando-se por um formato mais ou menos retangular quando observados transversalmente. (Figuras 2, 27 e 28.)

O comprimento médio dos traqueóides axiais oscila entre 2-5 mm, podendo atingir valores extremos de cerca de 11 mm no gênero *Araucaria*. Além de variar conforme a espécie, o comprimento também varia de acordo com a idade da árvore e com a localização da célula no tronco.

Os traqueóides axiais podem apresentar espessamentos especiais em suas paredes, como crassulas, a exemplo do pínus (*Pinus elliottii* Engelm.-*Pinaceae*), e mais raramente em espiral, como ocorre com a duglásia (*Pseudotsuga* sp-*Pinaceae*) (ver *Estrutura da parede celular, Espessamentos em espiral* e Figura 17).

Parênquima transversal (parênquima radial ou raios)

São faixas de células parenquimáticas de altura, largura e comprimento variáveis, que se estendem radialmente no lenho, em sentido perpendicular ao dos traqueóides axiais, cuja função é armazenar, transformar e conduzir transversalmente substâncias nutritivas. Células parenquimáticas caracterizam-se por apresentar paredes relativamente finas, na maioria dos casos não lignificadas, e pontoações simples. Os raios das gimnospermas podem ser constituídos unicamente de células parenquimáticas: raios homogêneos, como em *Podocarpus* e *Araucaria;* ou apresentar traqueóides radiais (ver *Traqueóides dos raios*), geralmente em suas margens (Figura 26): raios heterogêneos, como em *Cedrus* e *Cupressus*.

Nos gêneros *Pinus, Picea, Larix* e *Pseudotsuga,* os raios heterogêneos, além de células parenquimáticas comuns e traqueóides radiais, podem apresentar canais resiníferos delimitados por células parenquimáticas epiteliais produtoras de resina. Neste caso são mais alargados, recebendo o nome especial de *raios fusiformes* (Figuras 24 e 28). Ocasionalmente podem surgir raios formados exclusivamente por traqueóides radiais, que, embora de constituição homocelular, são convencionalmente denominados heterogêneos.

Os raios de gimnospermas são finos, normalmente unisseriados, isto é, possuem apenas uma fiada de células quando vistos em seção tangencial, e menos freqüentemente bi ou trisseriados. (Figura 24.)

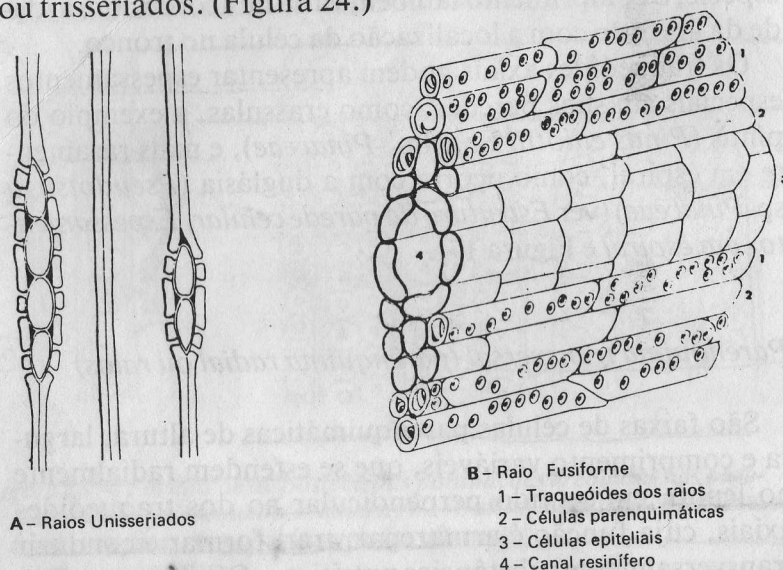



Figura 24 — Alguns aspectos de raios em gimnospermas.
Fonte: A: Greguss, 1965; B: segundo Howard & Manwiller. *Apud:* Koch, 1972.

É grande a importância na identificação de madeiras dos diferentes tipos de pontoações que surgem nas zonas de contato entre as células parenquimáticas dos raios e os traqueóides axiais, chamadas *pontoações do campo de cruzamento.* (Figuras 22 e 25.)

Traqueóides dos raios (traqueóides radiais)

Traqueóides dos raios são células da mesma natureza dos traqueóides axiais, portanto caracterizadas pela presença de pontoações areoladas em suas paredes, porém bem menores que aqueles. Dispõem-se horizontalmente e ocorrem associados aos raios, normalmente formando suas

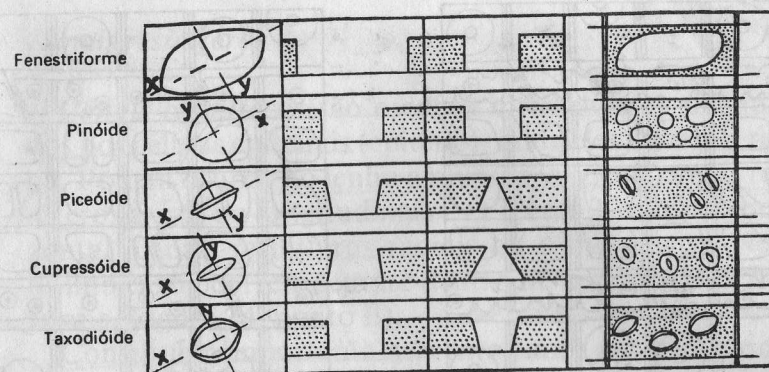



Figura 25 — Pontoações no campo de cruzamento.
Fonte: Jane, 1970.

margens superior e inferior, e só mais raramente encontram-se no seu interior ou independentemente destes.

Sua presença é característica em alguns gêneros como em *Pinus* e *Picea*, ao passo que em outros estão sempre ausentes, como em *Araucaria*. Têm como função a condução transversal de nutrientes no lenho e a sustentação do vegetal. Freqüentemente suas paredes internas apresentam irregularidades denominadas espessamentos denteados ou identuras (ver *Estrutura da parede celular, Identuras,* Figuras 17C, 26A e 28) e, em algumas espécies, espessamentos espiralados de importância taxonômica.

Parênquima axial

São células de forma retangular e paredes normalmente finas e não lignificadas, bem mais curtas do que os traqueóides axiais, que têm por função o armazenamento de substâncias nutritivas no lenho. (Figuras 7, 27 e 28.)

Este tipo de célula nem sempre ocorre nas gimnospermas. Está presente, por exemplo, nas podocarpáceas, pináceas e cupressáceas e ausente nas araucariáceas. Quando existentes, podem estar dispersas pelo lenho-parênquima

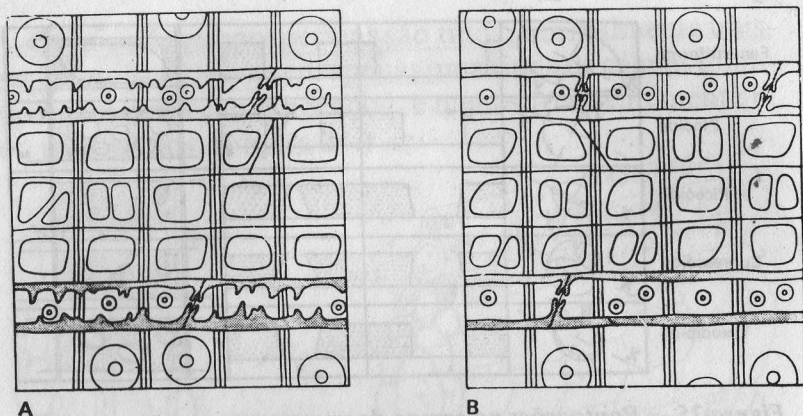



Figura 26 — Raios heterogêneos em gimnospermas: A — Traqueóides radiais com identuras; B — Traqueóides radiais com paredes lisas.
Fonte: Grosser, 1977.

axial difuso (*Podocarpus*); formando faixas junto aos limites dos anéis de crescimento — parênquima axial marginal (*Cedrus*); ou associadas aos canais resiníferos (*Pinus*). Como os demais elementos parenquimáticos, apresentam grande longevidade e pontoações simples em suas paredes.

Células epiteliais

São células de parênquima axial, especializadas na produção de resina, que delimitam os canais resiníferos formando um epitélio. Morfologicamente, distinguem-se dos elementos de parênquima axial normais por serem mais curtas e hexagonais e conterem um núcleo grande e denso citoplasma enquanto vivas. (Figuras 7, 27 e 28.)

As *células epiteliais* podem apresentar paredes espessas e lignificadas como em *Picea, Larix* e *Pseudotsuga,* ou paredes finas não lignificadas como em *Pinus;* trata-se de um detalhe com valor diferencial.

Canais resiníferos

Canais resiníferos são espaços intercelulares delimitados por células epiteliais (epitélio), que neles vertem a resina. Podem ocupar no lenho a posição vertical (canais resiníferos axiais ou longitudinais — Figuras 27 e 28) ou horizontal (canais resiníferos radiais ou transversais). Neste último caso ocorrem sempre dentro de um raio (raio fusiforme, Figura 24, ponto B).

Constituem importante elemento para a distinção de certas madeiras, pois em algumas estão sempre presentes (*Pinus* e *Picea*), enquanto em outras estão ausentes (*Sequoia* e *Araucaria*). Seus diâmetros (aproximadamente 30-100 µm) e abundância também variam apreciavelmente, podendo em muitas espécies serem vistos a olho nu como em pínus (*Pinus elliottii* Engelm.-*Pinaceae*).

Canais resiníferos axiais podem surgir em conseqüência de ferimentos provocados na árvore, mesmo em madeiras em que são normalmente ausentes (*Tsuga* e *Abies*), e são designados *canais resiníferos traumáticos.* Estes canais apresentam uma distribuição especial muito peculiar, que facilmente os distingue dos canais resiníferos normais. Estes últimos ocorrem de forma difusa na madeira, enquanto que aqueles surgem em faixas tangenciais regulares, correspondentes à época em que foram originados. De acordo com este princípio, procede-se à exploração comercial da resina de algumas espécies (*Pinus* spp), que é aproveitada como matéria-prima na fabricação de tintas, vernizes, sabões, inseticidas etc.

Traqueóides em séries verticais

Ocasionalmente se observa em algumas espécies, tais como por exemplo o pínus (*Pinus elliottii* Engelm.-*Pinaceae*), um tipo especial de traqueóide mais curto e de extremidades retas, muito semelhante morfologicamente às células de parênquima axial, das quais se distingue pela presença

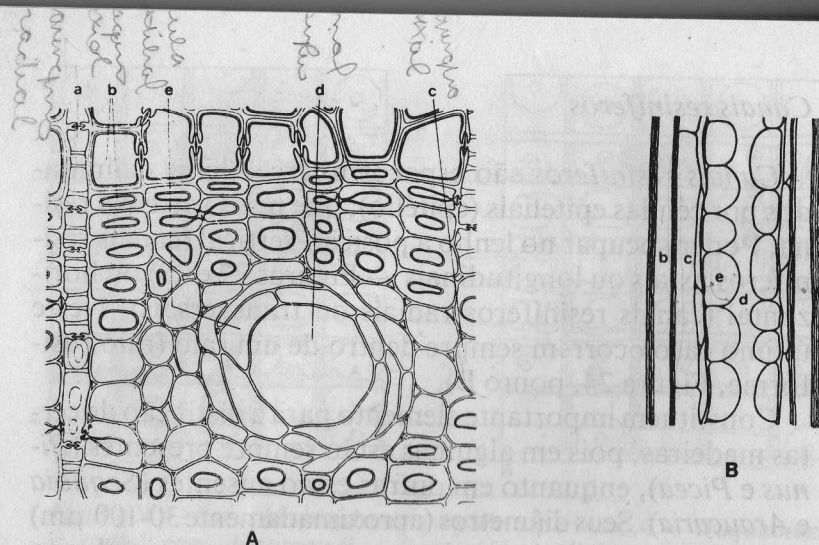



Figura 27 — Canal resinífero (d) em* Pinus *sp, delimitado por células epiteliais (e), parênquima axial (c) e traqueóides axiais (b). Parênquima radial (a). A: Aspecto em corte transversal; B: Aspecto em corte longitudinal.

Fonte: A: Treiber, 1957; B: Bosshard, 1974.

de pontoações areoladas e paredes relativamente espessas e lignificadas (Figura 7). Estas células são denominadas traqueóides em séries verticais e têm como função a condução de líquidos e a sustentação da árvore. São provavelmente vestígios do processo evolutivo do reino vegetal.

Ocorrem no lenho em séries verticais principalmente associadas aos canais resiníferos, junto com as células de parênquima axial.

Estrutura da madeira de angiospermas dicotiledôneas

Conforme já mencionado anteriormente, as angiospermas dicotiledôneas são vegetais mais evoluídos e correspondentemente sua composição anatômica é bem mais especializada e complexa do que a das gimnospermas, oferecendo um número bem maior de caracteres para a sua identificação.

- Aspecto transversal: 1-1a: Raio. B: Traqueóide radial com identuras. 2: Canal resinífero. C: Parênquima axial de paredes finas. D: Parênquima axial de paredes espessas. E: Células epiteliais. 3-3a: Traqueóides axiais de lenho inicial. F: Par de pontoações areoladas radiais cortadas através do toro e aberturas das pontoações. G: Par de pontoações areoladas cortado abaixo das aberturas das pontoações. H: Par tangencial de pontoações areoladas. 4-4a: Lenho tardio.
- Aspecto radial: 5-5a: Raio fusiforme secionado. J: Traqueóide radial com identuras. K: Parênquima radial de paredes finas. L: Células epiteliais. M: Traqueóide radial não secionado. N: Parênquima radial de paredes espessas. O: Pontoação areolada radial de lenho tardio (abertura interna). O': Pontoação areolada radial de lenho inicial (abertura interna). P: Pontoação areolada tangencial. Q: Espessamentos calitrisóides. R: Espessamentos em espiral. S: Pontoações areoladas radiais (a lamela média composta foi arrancada, removendo crassulas e toro). 6-6a: Raio unisseriado heterogêneo secionado.
- Aspecto tangencial: 7-7a: Traqueóides em séries verticais. 8-8a: Parênquima axial (paredes finas). T: Parênquima axial (paredes espessas). 9-9a: Canal resinífero axial. 10: Raio fusiforme. U: Traqueóides radiais. V: Parênquima radial. W: Células epiteliais transversais. X: Canal resinífero transversal. Y: Abertura entre canais axial e transversal. 11: Raio heterogêneo unisseriado. 12: Raio unisseriado homogêneo. Z: Pontoações areoladas tangenciais pequenas no lenho tardio. Z': Pontoações areoladas tangenciais grandes no lenho inicial.

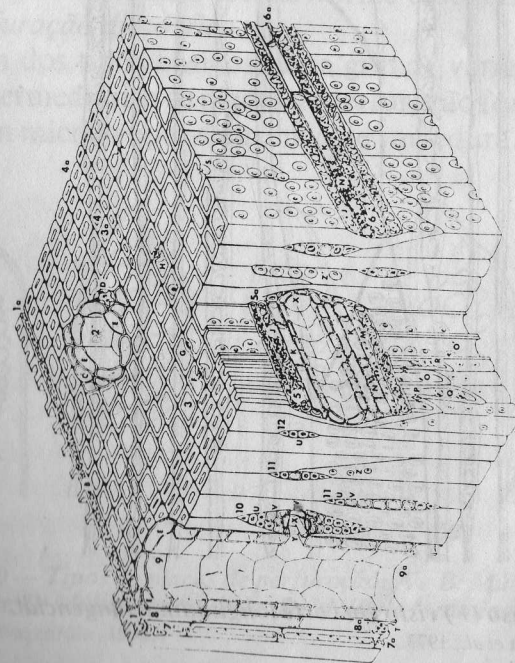



Figura 28 — Aspecto microscópico tridimensional da madeira de uma gimnosperma (Pinus sp). (Segundo Howard & Manwiller. *Apud:* Rochette, 1964.)

Compondo o lenho de angiospermas dicotiledôneas são encontrados os seguintes elementos estruturais:

Vasos

São estruturas que ocorrem, salvo raras exceções (ver *Famílias e gêneros cujas estruturas anatômicas do xilema fogem às normas gerais*), em todas as angiospermas e constituem, por isso, o principal elemento de diferenciação entre estas e as gimnospermas. *Vaso* é um conjunto normalmente axial de células sobrepostas (elementos vasculares) formando uma estrutura tubiforme contínua de comprimento indeterminado, que tem por função a condução ascendente de líquidos na árvore. (Figura 29.)

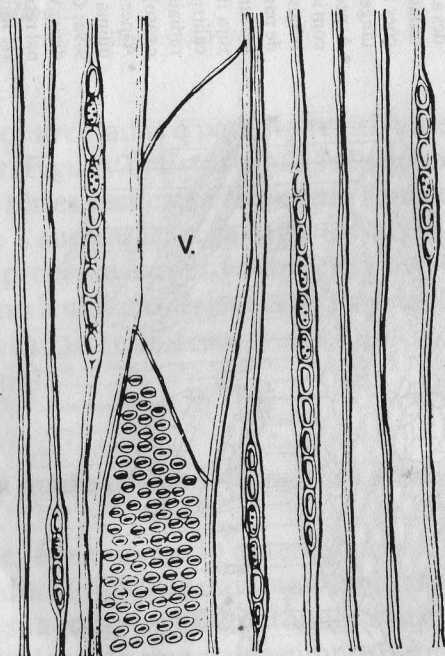



***Figura 29** — Vaso (V) visto em corte longitudinal tangencial.*
Fonte: Jacquiot *et al.*, 1973.

Para permitir a circulação de substâncias líquidas, os elementos vasculares possuem extremidades perfuradas denominadas *placas de perfuração,* que podem ser dos seguintes tipos, conforme o aspecto das descontinuidades. (Figura 30.)

- Múltiplas: múltipla escalariforme
  múltipla reticulada
  múltipla foraminada
- Simples

Normalmente um só tipo de placa de perfuração é peculiar para determinado gênero ou espécie, como o tipo escalariforme para *Ilex, Magnolia* etc. Entretanto, alguns gêneros, como por exemplo *Endlicheria, Aiouea, Cinnamomum* etc., da família das lauráceas, podem apresentar simultaneamente os tipos simples e escalariforme, fenômeno mais comum no lenho tardio. O contato de uma placa de perfuração simples com uma escalariforme é denominado *placa de perfuração dimórfica.*

Além dos tipos básicos, uma grande variedade de formas intermediárias de placas de perfuração foram observadas com microscópio eletrônico de varredura.

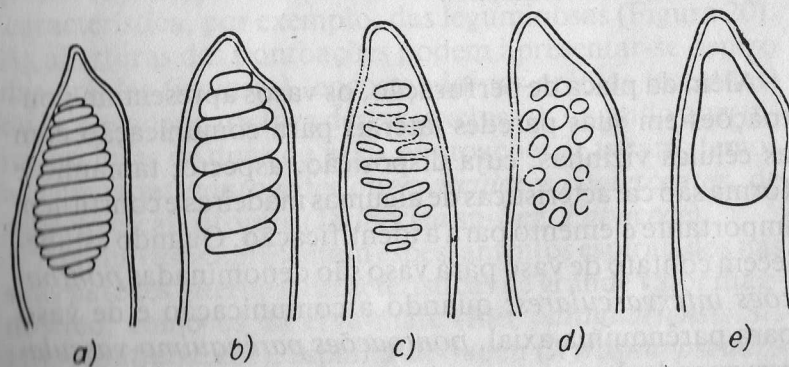



***Figura 30** — Tipos de placas de perfuração: A e B: Múltiplas escalariformes; C: Múltipla reticulada; D: Múltipla foraminada; E: Simples.*
Fonte: Wagenführ, 1966.

O tipo de placa de perfuração e os aspectos dos elementos de vasos são características relacionadas ao estágio evolutivo do vegetal e adaptação deste às condições ambientais. (Figura 31.)

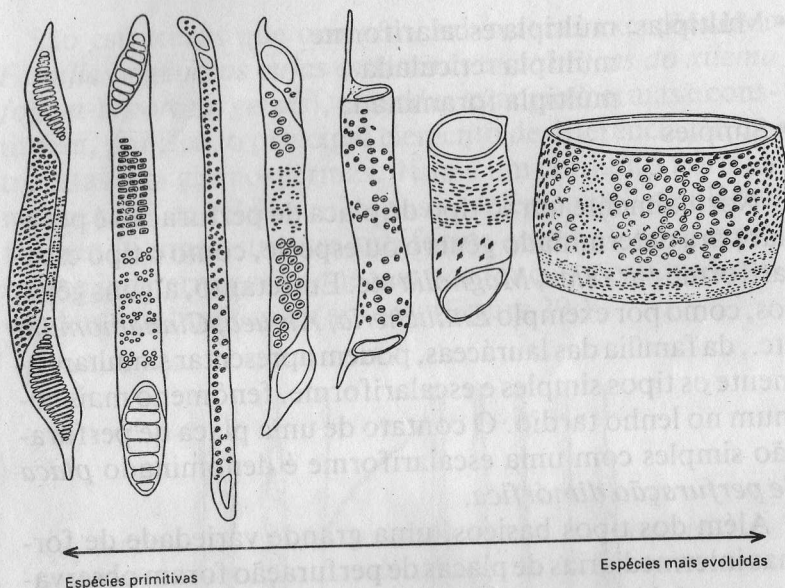



Figura 31 — Tipos de elementos de vaso.
Fonte: Eames & MC Daniels, 1974.

Além da placa de perfuração, os vasos apresentam pontoações em suas paredes laterais para comunicação com as células vizinhas, cuja disposição, aspecto, tamanho e forma são características de algumas madeiras e constituem importante elemento para a identificação. Quando estabelecem contato de vaso para vaso são denominadas *pontoações intervasculares;* quando a comunicação é de vaso para parênquima axial, *pontoações parênquimo-vasculares;* quando de vaso para raio, denominam-se *raio-vasculares.* Nas áreas de contato entre vaso e fibra, existe rara ou nenhuma pontoação. É importante lembrar que os vasos

que ocorrem isolados no lenho (poros solitários) não apresentam pontoações intervasculares em suas paredes.

Quanto à disposição, pontoações intervasculares podem apresentar-se conforme os tipos esquematizados na figura 32:

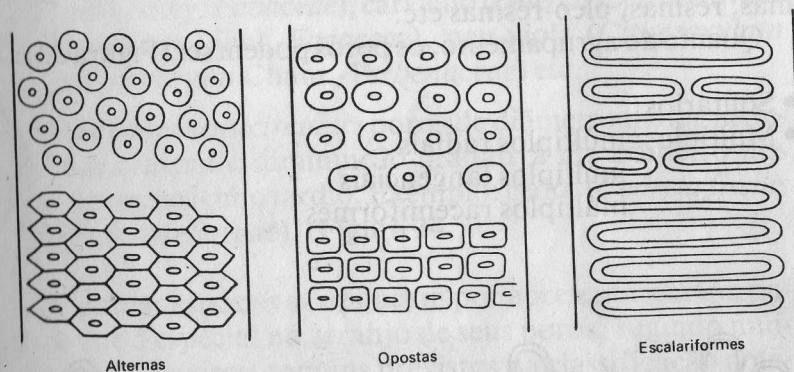



Figura 32 — Tipos de pontoações intervasculares quanto à sua disposição.
Fonte: Grosser, 1977.

As pontoações intervasculares variam também na sua forma (arredondadas, poligonais e ovaladas) e aspecto. Um exemplo importante são as *pontoações guarnecidas* (*vestured pits*), já abordadas em *Estrutura da parede celular,* característica, por exemplo, das leguminosas (Figura 20). As aberturas das pontoações podem apresentar-se dentro das aréolas (inclusas), encostando nas aréolas (tocantes) ou se estender para fora destas (exclusas). Quando aberturas exclusas de duas ou mais pontoações se tocam, temos as chamadas *pontoações intervasculares coalescentes,* de aspecto escalariforme (*Dalbergia* sp-Leg. *Fabaceae*).

Alguns vasos apresentam espessamentos espiralados nas suas paredes internas, características de grande valor diagnóstico, como os da èrva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.-*Aquifoliaceae*), espinho-de-judeu (*Xylosma pseudosalzmanni* Sleum.-*Flacourtiaceae*) etc.

Na seção transversal, os vasos recebem o nome de *poros,* e a sua distribuição, abundância, tamanho (20-500 μm) e

agrupamento são características importantes para a identificação de espécies e propriedades tecnológicas da madeira (massa específica, comportamento na secagem, impregnação por ocasião de tratamento preservativo etc). Sob estes últimos aspectos é sobretudo importante que os poros não estejam obstruídos por tilos ou conteúdos como: gomas, resinas, óleo-resinas etc.

Quanto ao agrupamento, os poros podem ser (Figura 33):

- Solitários
- Múltiplos: múltiplos radiais
  múltiplos tangenciais
  múltiplos racemiformes

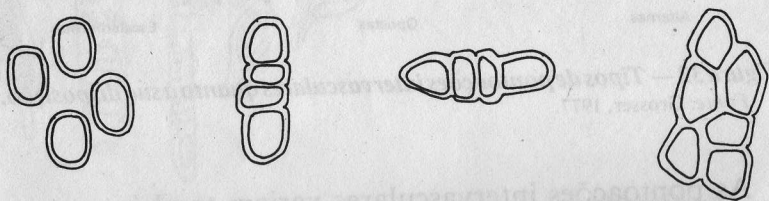



Figura 33 — Aspecto dos poros segundo o seu agrupamento — plano transversal.

Poros múltiplos de dois são comumente chamados *poros geminados*.

Quanto à disposição e diâmetro dos poros em relação aos anéis de crescimento, a porosidade da madeira pode ser:

- *Difusa:* poros dispersos pelo lenho independentemente dos anéis de crescimento.
  — *Difusa uniforme:* dispersos uniformemente ao longo dos anéis de crescimento. Exemplo: marfim (*Rauvolfia pentaphylla* Ducke-*Apocynaceae*).
  — *Difusa não uniforme:* dispersos desigualmente ao longo dos anéis de crescimento. Exemplo: suroras (*Pittosporum ferrugineum* (Dryand.) Ait.-*Pittosporaceae*).

- *Em anel:* concentração de poros de diâmetro maior no início do período vegetativo:
  — *Em anel circular:* poros de diâmetro maior no lenho inicial e brusca diminuição do diâmetro dos poros no lenho tardio. Exemplos: robínia (*Robinia pseudoacacia* L.-*Leg. Fabaceae*), carvalho (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.-*Fagaceae*), pau-viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.-*Verbenaceae*) etc.
  — *Em anel semicircular:* poros de diâmetro maior no lenho inicial e diminuição gradativa do diâmetro dos poros no lenho tardio. Exemplo: cedro (*Cedrela fissilis* Vell.-*Meliaceae*). (Figura 34.)

Algumas espécies se destacam por apresentarem um padrão todo especial no arranjo de seus poros, fugindo muitas vezes aos tipos comuns previstos na classificação anterior. Tais madeiras merecem consideração à parte, como a guaiuvira (*Patagonula americana* L.-*Boraginaceae*) (Figura 35, ponto B), o ulmo (*Ulmus campestris* Spach-*Ulmaceae*) (Figura 35, ponto C), o carvalho-brasileiro (*Roupala brasiliensis* Klotzsch e *Roupala grossedentata* Pitt.-*Proteaceae* (Figura 35, ponto A) etc., que apresentam *poros em arranjo tangencial.* Denominações como arranjo uniforme, em festões etc., encontradas na literatura para caracterizar o arranjo dos poros destas espécies, caíram hoje em desuso. Entre outros, merecem ainda ser mencionados os *poros em arranjo dendrítico,* presentes no lenho tardio de certos carvalhos, como do *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.-*Fagaceae,* e os *poros em arranjo diagonal ou oblíquo,* peculiares de alguns eucaliptos (*Eucalyptus* sp-*Myrtaceae*).

O tipo de porosidade da madeira é uma característica anatômica suscetível a variações provocadas pela adaptação da planta às condições ecológicas. Árvores que possuem densa folhagem e crescem em regiões de estações anuais bem definidas apresentam comumente porosidade em anel, por causa da necessidade de grandes poros no iní-

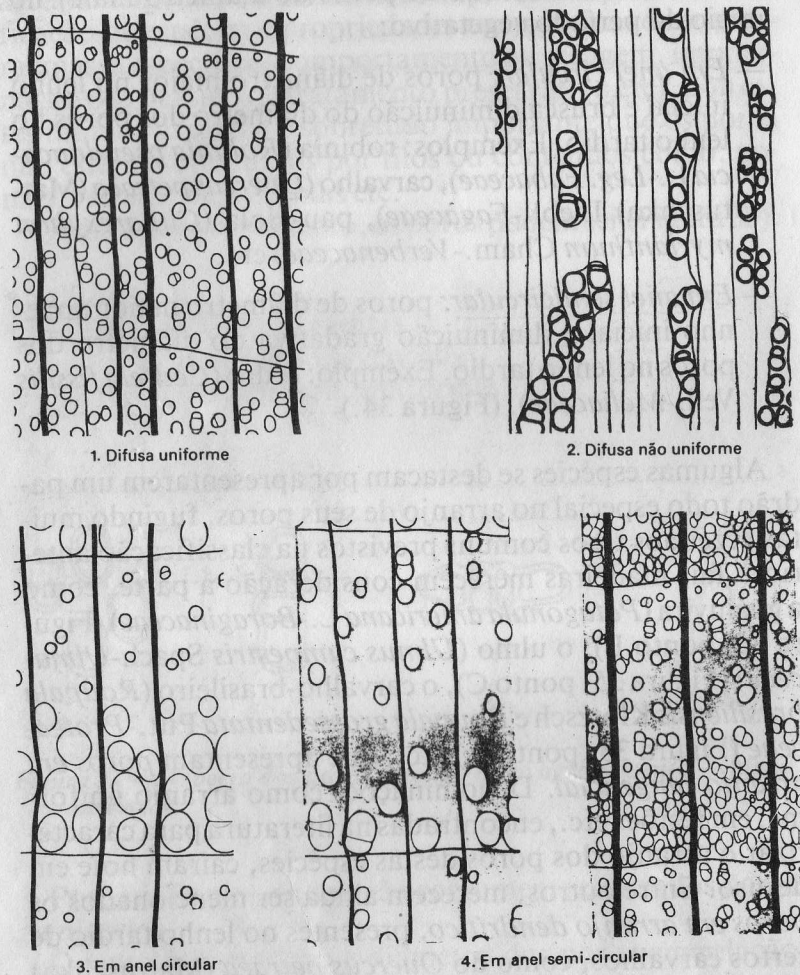



Figura 34 — Tipos de porosidade da madeira.
Fonte: 1, 3 e 4: Grosser, 1977; 2: Gottwald, 1958.

cio do período vegetativo para suprir as exigências fisiológicas de uma grande copa, como por exemplo o carvalho (*Quercus robur Leg. Fagaceae*). Não é incomum ocorrerem, em um tronco proveniente de árvore que cresceu em condições climáticas instáveis, anéis de crescimento com porosidade em anel semicircular e outros com porosidade difusa como em algumas espécies de jacarandá (*Dalbergia* sp.-*Leg. Fabaceae*). A porosidade da madeira, considerada isoladamente, constitui por isso caráter de baixo valor diagnóstico.

Além dos aspectos que foram vistos, a abundância de poros (poros/mm²), seu formato (oval, arredondado ou quadrangular), a espessura de suas paredes e a presença

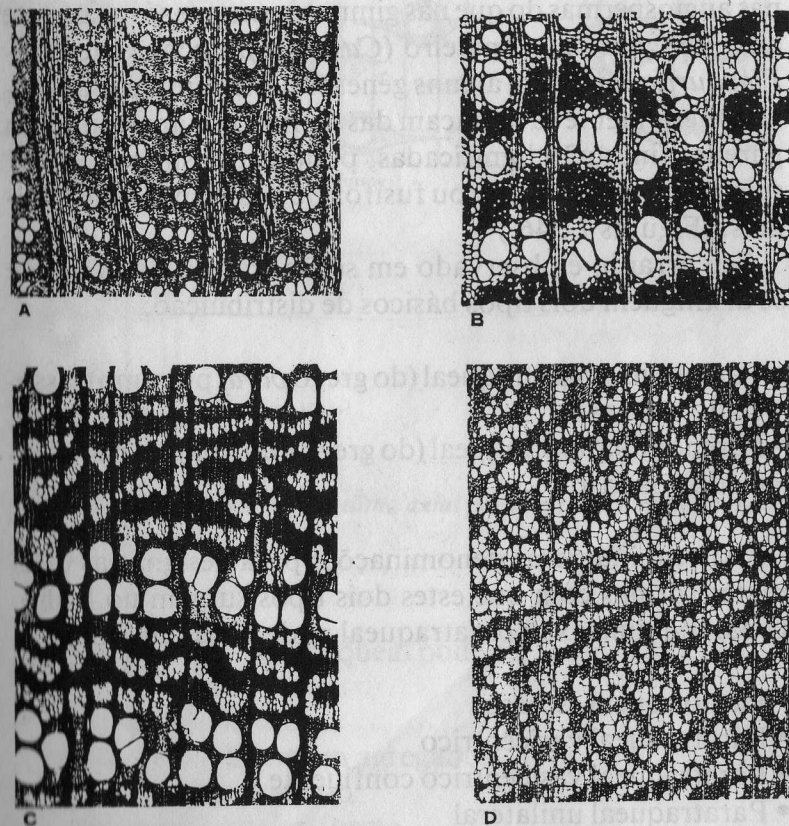



Figura 35 — Exemplos de aspectos especiais de disposição dos poros. A: **Roupala grossedentata** *Pitt.*-**Proteaceae.** *B: Guaiuvira (***Patagonula americana** *L.*-**Boraginaceae***). C: Ulmo (***Ulmus campestris** *Spach*-**Ulmaceae***). D: Sabugueiro-preto (***Sambucus nigra** *L.*-**Caprifoliaceae***).*
Fonte: A: Record & Hess, 1949, B: Tortorelli, 1956, C e D: Grosser, 1977.

de tilos e conteúdos constituem detalhes importantes na identificação de madeiras.

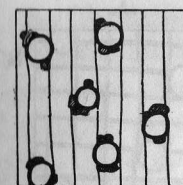
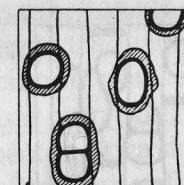
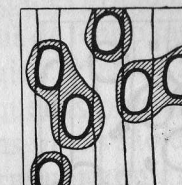
Parênquima axial

O *parênquima axial*, que desempenha função de armazenamento no lenho, é normalmente bem mais abundante nas angiospermas do que nas gimnospermas, e só raramente ausente, como no sapateiro (*Casearia praecox* Griseb.[4]-*Flacourtiaceae*) e em alguns gêneros desta família. Suas células geralmente se destacam das demais por apresentarem paredes finas não lignificadas, pontoações simples, e por sua forma retangular e/ou fusiforme nos planos longitudinais. (Figuras 7 e 46.)

Seu arranjo é observado em seção transversal, em que se distinguem dois tipos básicos de distribuição:

- Parênquima paratraqueal (do grego *para*: próximo): associado aos vasos.
- Parênquima apotraqueal (do grego *apo*: longe): não associado aos vasos.

Existem inúmeras denominações para designar as diferentes formas com que estes dois tipos surgem no lenho. O parênquima axial paratraqueal pode ser (Figura 36):

- Paratraqueal escasso
- Paratraqueal vasicêntrico
- Paratraqueal vasicêntrico confluente
- Paratraqueal unilateral
- Paratraqueal aliforme
- Paratraqueal aliforme confluente
- Paratraqueal em faixas

4. Sin.: *Gossypiospermum praecox* (Griseb.) Wilson.

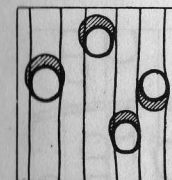
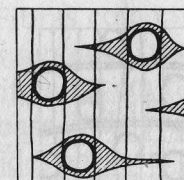
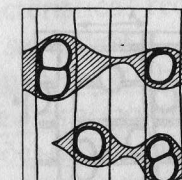
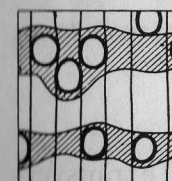



Figura 36 — Tipos de parênquima axial paratraqueal em seção transversal.
Fonte: Wagenführ, 1966.

O parênquima apotraqueal pode ser (Figura 37):

- Apotraqueal difuso
- Apotraqueal difuso em agregados
- Apotraqueal reticulado
- Apotraqueal escalariforme
- Apotraqueal em faixas
- Apotraqueal marginal

Em uma mesma espécie podem coexistir dois ou mais tipos de parênquima.

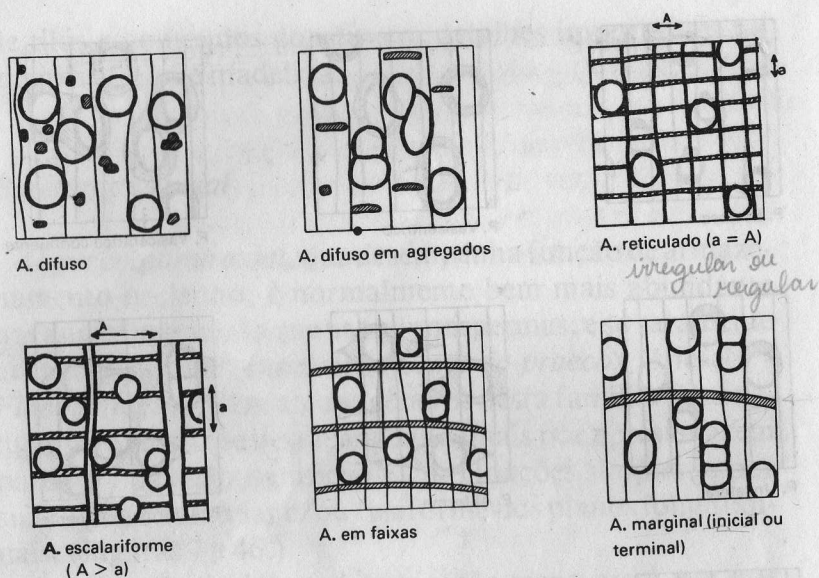



Figura 37 — Tipos de parênquima axial apotraqueal em seção transversal.
Fonte: Wagenführ, 1966, adaptado.

A extrema abundância de parênquima (axial e transversal) confere às madeiras extraordinária leveza, baixa resistência mecânica e pouca durabilidade natural.

Em algumas espécies encontramos células parenquimáticas especializadas, como células glandulares, células oleíferas (ver *Células oleíferas, mucilaginosas etc.*), uma característica diferencial de grande valor.

Fibras

Fibras são células peculiares a angiospermas, constituindo geralmente a maior percentagem de seu lenho (20-80%), no qual normalmente desempenham a função de sustentação. Sua porção no volume total e a espessura de suas paredes influem diretamente na massa específica e no grau de alteração volumétrica e indiretamente nas propriedades mecânicas da madeira.

As fibras são células esbeltas, de extremidades afiladas, que lembram ligeiramente traqueóides axiais de lenho tardio, deles se diferenciando por serem mais curtas (0,5-2,5 mm), pontiagudas e com poucas e pequenas pontoações. Em algumas espécies, as cavidades das fibras são divididas em pequenas câmaras por finas barras horizontais; exemplos: imbuia (*Ocotea porosa* (Nees et Mart. ex Nees) L. Barroso-*Lauraceae*) e umbuzeiro (*Spondias mombim* L.-*Anacardiaceae*). Fibras com estas características recebem o nome de *fibras septadas* (ver *Fibras septadas*).

As fibras são classificadas em fibrotraqueóides e fibras libriformes, sendo a base de distinção entre elas as pontoações: as fibrotraqueóides possuem pontoações distintamente areoladas e relativamente grandes (4-9 μm), enquanto que as fibras libriformes possuem pontoações pequenas (2-4 μm), inconspicuamente areoladas, sendo também normalmente menores em comprimento e diâmetro.

Parênquima transversal (parênquima radial ou raios)

Como nas gimnospermas, os raios das angiospermas também desempenham as funções de armazenamento, transformação e condução transversal de substâncias nutritivas, mas se apresentam com uma riqueza morfológica bem maior, variando em tipo, número e tamanho de célula, e constituem com o parênquima axial os mais eficazes elementos de distinção entre espécies.

Os raios podem ser:

- *Homogêneos:* são aqueles formados por células parenquimáticas de um único formato, referindo-se normalmente o termo *homogêneo* aos raios cujo tecido é constituído apenas por células procumbentes (deitadas ou horizontais), quando vistos em seção radial. Exemplos: carvalho (*Quercus* sp-*Fagaceae*) e eucalipto (*Eucalyptus* sp-*Myrtaceae*).

• *Heterogêneos:* são aqueles que incluem células de mais de um formato, procumbentes, quadradas e eretas (Figura 38) (seção radial) nas mais diversas combinações. Exemplos: pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.-*Rutaceae*) e umbuzeiro (*Spondias mombim* L.-*Anacardiaceae*).

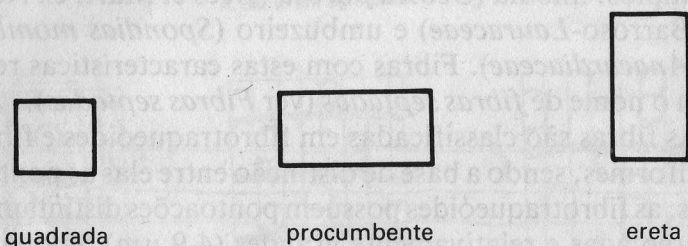



Figura 38 — Formato das células parenquimáticas constituintes dos raios.

Os raios homogêneos e heterogêneos podem ser tanto unisseriados, constituídos por apenas uma fileira de células na seção tangencial, como bi e multisseriados, quando formados por duas ou mais fileiras de células nesta seção. (Figura 39.)

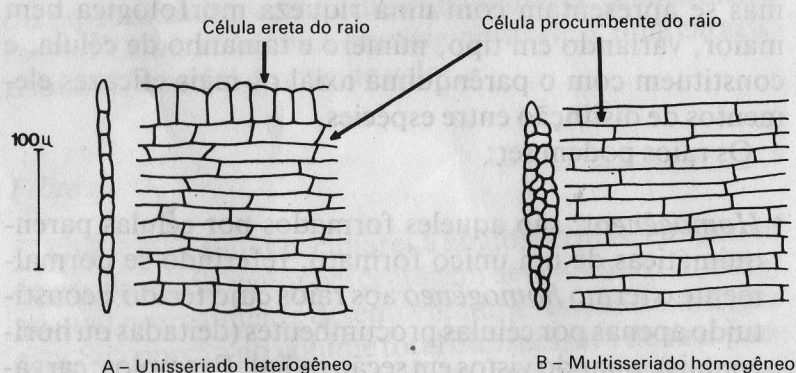



Figura 39 — Tipos básicos de raios.
Fonte: Fahn, 1978.

Os raios recebem muitas classificações, em consonância com seus diferentes aspectos. Kribs classificou-os em (Figura 40):

• *Homogêneos:* Este tipo inclui raios constituídos unicamente por células procumbentes. Ainda que com a maior dimensão no sentido horizontal (procumbentes) as células marginais são comumente mais altas do que as células do centro (muitas espécies de leguminosas).
• *Heterogêneos:*
Tipo 1 — a) Raios unisseriados compostos de células eretas e quadradas. b) Raios multisseriados com margens unisseriadas do mesmo comprimento ou mais longas do que a parte multisseriada. As margens unisseriadas são formadas de células eretas ou eretas e quadradas.
Tipo 2 — a) Raios unisseriados, incluindo células eretas e quadradas. b) Raios multisseriados com uma fileira marginal de células eretas ou com margens unisseriadas mais curtas que a parte multisseriada, sendo estas compostas de células eretas ou eretas e quadradas.
Tipo 3 — a) Raios unisseriados constituídos de células procumbentes ou células quadradas, ou uma mistura de procumbentes e quadradas. b) Raios multisseriados com células marginais quadradas (normalmente uma fileira) mas, havendo margens presentes, estas são formadas unicamente por células quadradas.

Além dos tipos mencionados, os raios podem apresentar outros aspectos especiais como na figura 41:

Traqueóides vasculares

São células presentes em certas angiospermas como vestígios da evolução ocorrida no reino vegetal. Assemelham-se a pequenos elementos de vasos de lenho tardio, porém seus extremos são imperfurados e, como qualquer traqueóide, apresentam pontoações areoladas em suas paredes

HOMOGÊNEOS

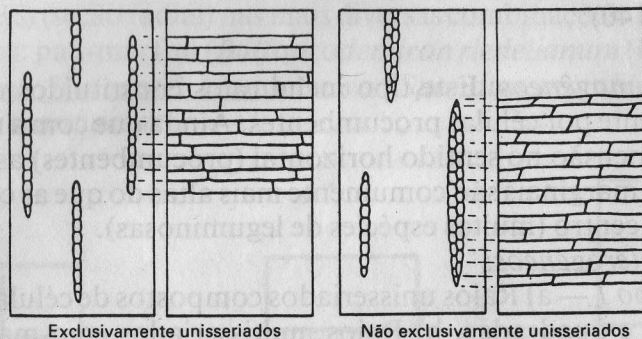
Exclusivamente unisseriados

Não exclusivamente unisseriados

HETEROGÊNEOS

Exclusivamente unisseriados

Heterogêneos Tipo 01

Heterogêneos Tipo 02

Heterogêneos Tipo 03

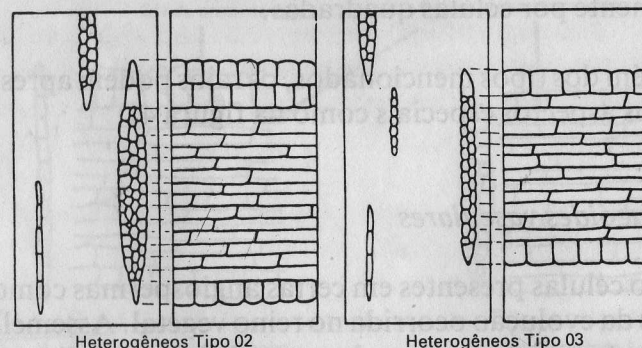
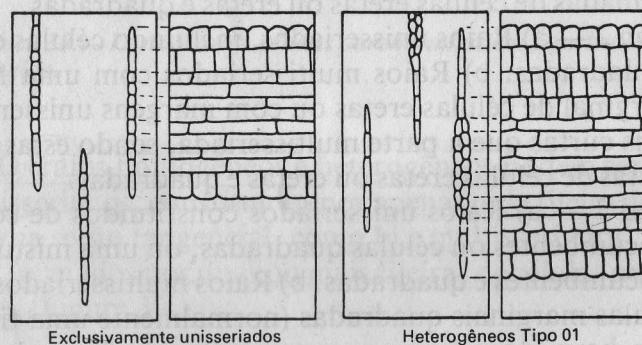



Figura 40 — Aspectos dos raios segundo Kribs.
Fonte: Jane, 1970.

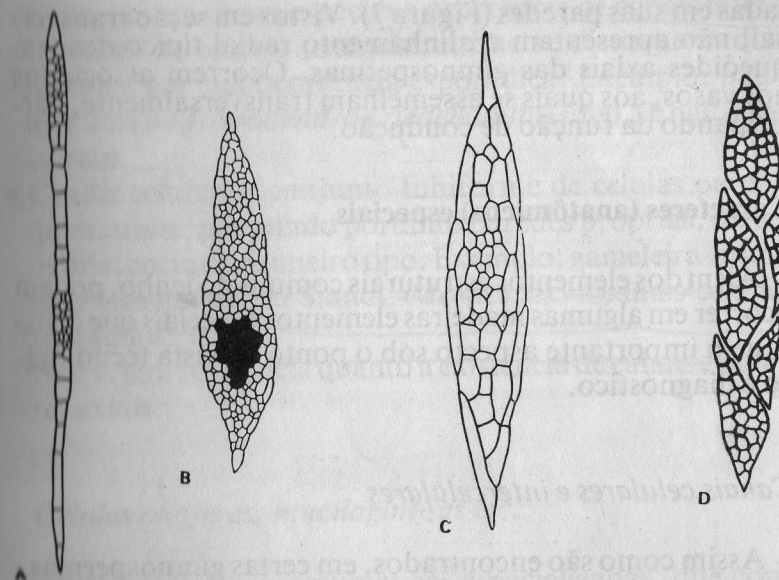



Figura 41 — Tipos especiais de raios (plano l. tangencial): A — Raios fusionados (cupiúba-**Goupia glabra** *Aubl.*-**Goupiaceae** *ou* **Celastraceae***, segundo alguns botânicos); B — Raio contendo canal secretor transversal* (**Loranthus longiflorus** *L.*-**Loranthaceae***); C — Raios com células envolventes* (**Senecio adnivalis** *Stapf.*-**Compositae***); D — Raios em agregados.*
Fonte: A, B, C: Metcalfe, 1965; D: autores.

(Figura 7) e desempenham no tronco a função de condução. Encontram-se organizados em séries verticais e, em seção transversal, são facilmente confundidos com os poros pequenos.

Traqueóides vasicêntricos

Analogamente aos anteriores, são resquícios de origem evolutiva presentes ainda em certas madeiras.

São mais curtos e irregulares do que os traqueóides vasculares, de extremos arredondados e com pontoações areo-

ladas em suas paredes (Figura 7). Vistos em seção transversal, não apresentam o alinhamento radial típico dos traqueóides axiais das gimnospermas. Ocorrem associados aos vasos, aos quais se assemelham transversalmente, participando da função de condução.

Caracteres (anatômicos) especiais

Além dos elementos estruturais comuns do lenho, podem ocorrer em algumas madeiras elementos especiais que constituem importante aspecto sob o ponto de vista tecnológico e diagnóstico.

Canais celulares e intercelulares

Assim como são encontrados, em certas gimnospermas, canais resiníferos, algumas angiospermas podem apresentar, analogamente, canais que contêm substâncias diversas como resinas, gomas, bálsamos, taninos, látex etc., peculiares a algumas famílias como as das anacardiáceas (canais radiais), moráceas (tubos laticíferos), rutáceas (canais traumáticos), miristicáceas (tubos taniníferos) etc.

Quando presentes, os canais podem ocupar no lenho posições tanto vertical (canais axiais) como horizontal (canais radiais ou transversais). Canais radiais, como no caso das gimnospermas, sempre ocorrem dentro de um raio (Figura 41, ponto B). Quanto à sua natureza, os canais podem ser:

- *Canais intercelulares:* espaços de estrutura tubular e comprimento indeterminado, sem paredes próprias e revestidos por células parenquimáticas especiais (células epiteliais). Exemplos: copaíba (*Copaifera langsdorfii* Desf.-*Leg. Caesalpiniaceae*) — canais axiais em fileiras tangenciais; pau-óleo (*Prioria copaifera* Griseb.-*Leg. Caesalpiniaceae*) — canais axiais em distribuição difusa; umbuzeiro (*Spondias mombim* L.-*Anacardiaceae*) — canais radiais.

É comum em certas espécies a ocorrência de canais intercelulares de origem traumática, que se distinguem dos normais por sua ocorrência esporádica. Exemplo: pau-marfim (*Balfourodendron riedelianum* (Engl.) Engl.-*Rutaceae*).

- *Canais celulares:* conjunto tubiforme de células parenquimatosas, possuindo portanto paredes próprias, o que os diferencia do primeiro tipo. Exemplo: gameleira-branca (*Ficus gameleira* Standl.-*Moraceae*) — canais celulares radiais.

Não se tem referência quanto à existência de canais celulares axiais.

Células oleíferas, mucilaginosas etc.

São células parenquimáticas especializadas, que contêm óleo, mucilagem ou resinas, facilmente distinguíveis das demais por suas grandes dimensões. Células oleíferas (Figura 42) e mucilaginosas são características de madeiras de certas famílias, como por exemplo das lauráceas, e se acham dispersas no lenho, principalmente associadas aos parênquimas axial e radial. A presença de substâncias especiais na madeira, além de aumentar apreciavelmente o seu peso, permite, em certos casos, o aproveitamento industrial de óleos essenciais para fins medicinais e de perfumaria, como por exemplo: sassafrás (*Ocotea pretiosa* (Nees) Mez-*Lauraceae*), pau-rosa (*Aniba duckei* Kosterm. e *Aniba rosaeodora* Ducke-*Lauraceae*) etc. Por outro lado, as substâncias contidas nestas células podem comprometer a utilização da madeira na fabricação de polpa e papel, dificultar a aplicação de tintas e revestimentos, bem como a colagem da madeira (ver *Comportamento em face da colagem e aplicação de revestimentos superficiais* e *Fabricação de polpa e papel*).

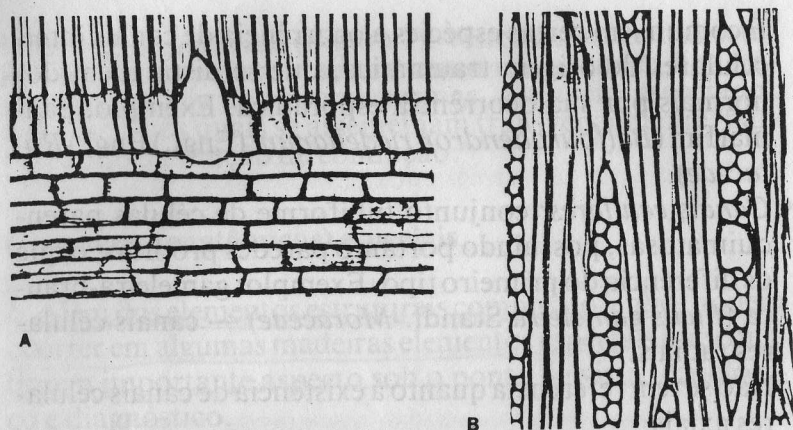



*Figura 42 — Células oleíferas nos raios de sassafrás (***Sassafras albidum** *(Nutt.) Nees-***Lauraceae***): A — Corte longitudinal radial; B — Corte longitudinal tangencial.*

Fonte: Core *et al.*, 1979.

Floema incluso

Em alguns gêneros e famílias, o câmbio forma esporadicamente células de floema para o interior do tronco. Este detalhe constitui uma peculiaridade normal para estes grupos vegetais. O floema incluso pode se apresentar nas seguintes formas:

- *Concêntrico (circumedular)*: formando faixas concêntricas no lenho. Exemplos: *Machaerium* sp-*Leg. Fabaceae,* hipocrateáceas, fitolacáceas etc.
- *Foraminoso*: espalhado pelo lenho em forma de feixes longitudinais como, por exemplo, nas nictagináceas, combretáceas, loganiáceas etc.

Estrutura estratificada

Em espécies mais evoluídas, os elementos axiais podem estar organizados formando faixas horizontais regulares

ou estratos. Este fenômeno é mais evidenciado no corte longitudinal tangencial e pode limitar-se a alguns elementos estruturais do lenho (estratificação parcial), por exemplo só aos raios, ou estender-se a todos (estratificação total). O efeito visual da estratificação (listrado de estratificação) pode ser normalmente evidenciado macroscopicamente (Figura 43) e é uma característica importante para a identificação de madeiras. Exemplos: jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Allem.-*Leg. Fabaceae*) e mogno (*Swietenia macrophylla* King-*Meliaceae*).

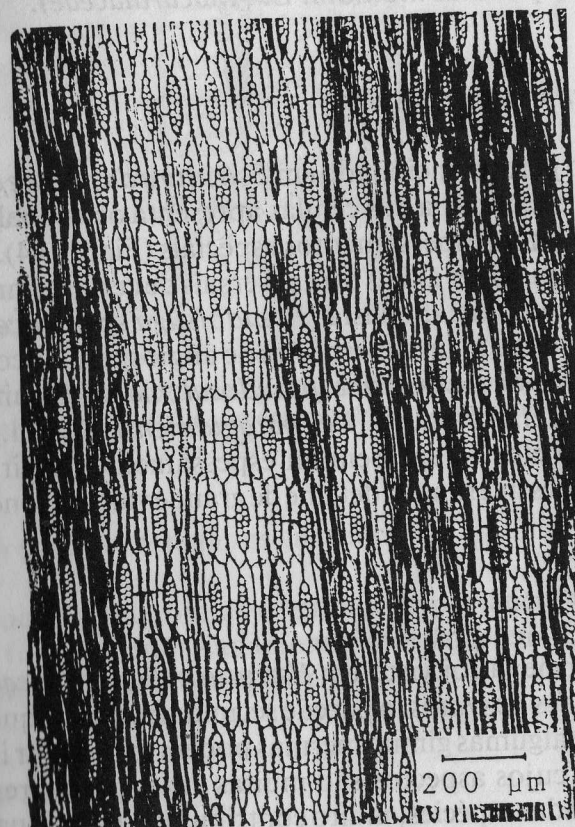



*Figura 43 — Estrutura estratificada (***Dalbergia nigra** *Allem.***-Leg. Fabaceae***).*

Fonte: Burger, 1979.

Fibras septadas

Em algumas espécies, antes da morte de suas fibras, estas se dividem e surgem paredes transversais posteriores, separando o seu interior em compartimentos (células-filhas permanecem envolvidas pela parede da célula-mãe). Estas fibras, nas quais o lume se encontra dividido por septos, segundo já comentado em *Fibras,* recebem o nome de *fibras septadas* e constituem característica de importância na diferenciação e identificação de espécies. Exemplo: umbuzeiro (*Spondias mombim* L.-*Anacardiaceae*).

Espessamentos em espiral

Como já foi mencionado em *Estrutura da parede celular,* a parede secundária das células apresenta ocasionalmente, junto ao lume, espessamentos especiais (Figura 44). Assim como traqueóides axiais e transversais de certas gimnospermas — exemplos: duglásia (*Pseudotsuga* sp-*Pinaceae*), fibras e vasos de algumas espécies de angiospermas como espinho-de-judeu (*Xylosma pseudosalzmanni* Sleum.-*Flacourtiaceae*), erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.-*Aquifoliaceae*) etc. — apresentam espessamentos espirais em suas paredes internas — detalhe de grande valor taxonômico.

Identuras

Conforme já foi visto em *Estrutura da parede celular* e *Traqueóides dos raios,* a parede secundária dos traqueóides radiais de algumas gimnospermas podem apresentar irregularidades cujos aspectos são muitas vezes peculiares para determinadas espécies, muito contribuindo para a sua identificação (Figura 17, ponto C).

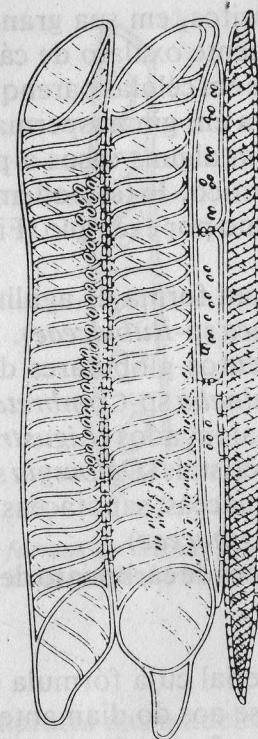



*Figura 44 — Espessamento em espiral em elementos anatômicos de angiospermas — tília (***Tilia tomentosa** *Moench*-**Tiliaceae***).*
Fonte: Greguss. *Apud:* Treiber, 1957.

Pontoações intervasculares guarnecidas

Este detalhe anatômico de grande importância diagnóstica já foi pormenorizadamente abordado em *Estrutura da parede celular.* (Figura 20.)

Cristais e sílica

Apesar de não serem propriamente caracteres anatômicos, sua presença é importante para a anatomia, identificação e utilização da madeira.

Cristais são depósitos, em sua grande maioria, de sais de cálcio, especialmente oxalato de cálcio, que se encontram principalmente em células parenquimáticas. Sua presença é bastante rara em gimnospermas, mas comum em angiospermas. Só em alguns casos a presença de cristais possui valor diagnóstico. Estes podem se apresentar sob diversas formas, como por exemplo (Figura 45):

- Ráfides: cristais com forma de agulha formando feixes compactos (*Faramea* sp-*Rubiaceae*).
- Drusas: agrupamentos globulares de cristais (*Prunus* sp-*Rosaceae, Terminalia* sp-*Combretaceae*).
- Estilóides: cristais alongados (*Ligustrum* sp-*Oleaceae*).
- Rombóides: monocristais (*Dalbergia* sp-*Leg. Fabaceae*).
- Areia de cristal: rubiáceas, sapotáceas; freijó (*Cordia goeldiana* Hub.-*Boraginaceae*).
- Cistólitos: concreções de carbonato de cálcio (hernandiáceas).

A *sílica* é um material cuja fórmula química e grau de dureza assemelham-se aos do diamante. Pode ocorrer no interior das células em forma de partículas ou grãos, normalmente nos raios e parênquima axial (*Parinari* sp-*Chrysobalanaceae*) e em casos mais raros nos outros elementos verticais (fibras); exemplo: *Ocotea splendens* (Meissn.) Baill.-*Lauraceae*. Outra forma de ocorrência é em blocos compactos (*dense of vitreous silica*) nos lumes dos elementos verticais, sobretudo fibras e vasos, e raramente em células parenquimáticas. Exemplos: *Poulsenia* sp-*Moraceae*, teca (*Tectona grandis* L. f.-*Verbenaceae*) etc.

Cristais e depósitos de sílica, especialmente estes últimos, têm grande importância na propriedade de trabalhabilidade da madeira. Um elevado conteúdo de sílica pode tornar antieconômica a conversão de toras em madeira serrada, devido ao seu efeito abrasivo sobre os dentes das serras e equipamentos. Por outro lado, confere à madeira uma alta resistência natural a agentes marinhos, embora seja controversa esta afirmação. Segundo Silva e Hillis, 1980, a ele-

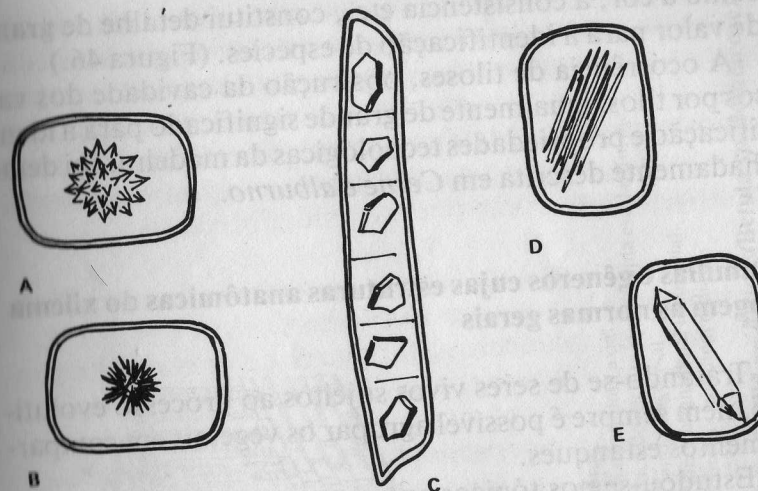



Figura 45 — Algumas formas de cristais presentes na madeira: A e D — ráfides; B — Drusas; C — Cristais romboédricos em câmaras; E — Estilóide.
Fonte: autores.

vada durabilidade natural das madeiras que contêm sílica deve ser atribuída muito mais à presença de alcalóides, que comumente apresentam simultaneamente.

Além de cristais e sílica, podem ocorrer nas madeiras muitas outras substâncias orgânicas (compostos fenólicos) e inorgânicas (carbonatos, sulfato de cálcio).

Conteúdos vasculares e tilos

Embora também não se trate de elementos estruturais, a presença de conteúdos dentro dos vasos, genericamente designados *gomo-resinas,* tem considerável importância para a anatomia, identificação e propriedades tecnológicas da madeira (capítulo 10). Nem todas as espécies os apresentam, mas sua existência é típica em determinados grupos botânicos, como na família das meliáceas. Sem levar em conta a composição química, o aspecto destes materiais,

como a cor, a consistência etc., constitui detalhe de grande valor para a identificação de espécies. (Figura 46.)

A ocorrência de tiloses, obstrução da cavidade dos vasos por tilos, igualmente de grande significado para a identificação e propriedades tecnológicas da madeira, foi detalhadamente descrita em *Cerne e alburno*.

Famílias e gêneros cujas estruturas anatômicas do xilema fogem às normas gerais

Tratando-se de seres vivos sujeitos ao processo evolutivo, nem sempre é possível agrupar os vegetais em compartimentos estanques.

Estudou-se nos tópicos anteriores a estrutura anatômica típica das madeiras de gimnospermas e angiospermas. Entretanto, no primeiro grupo, em que se caracterizam por apresentarem traqueóides como elementos condutores do xilema, dentro da classe clamidospermas, ordem gnetales, os seguintes gêneros possuem vasos, mostrando uma estrutura semelhante à das angiospermas:

- *Gnetum* (*Gnetaceae*)
- *Ephedra* (*Ephedraceae*)
- *Welwitschia* (*Welwitschiaceae*)

Analogamente, temos nas angiospermas dicotiledôneas as seguintes famílias que não apresentam vasos:

- *Winteraceae*
- *Trochodendraceae*
- *Tetracentraceae*
- *Amborellaceae*
- *Sarcandra*, dentro da família das clorantáceas

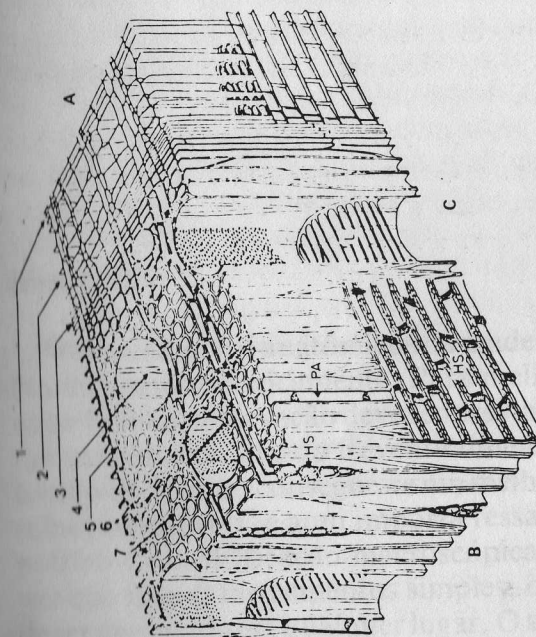
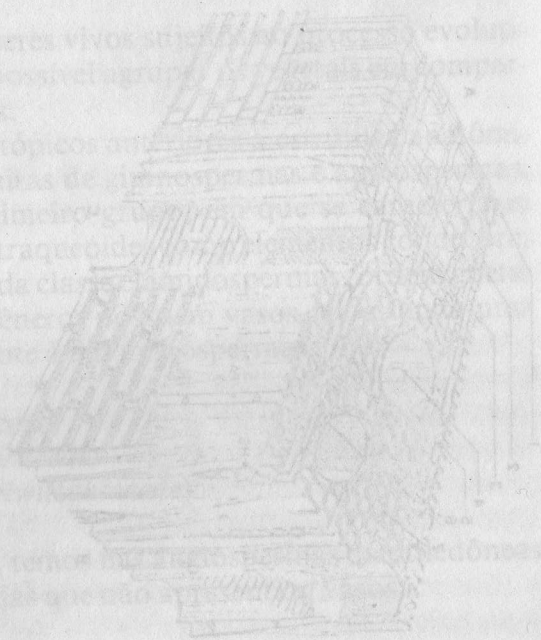
Considerou-se até aqui os diferentes tipos celulares que constituem o xilema secundário, com suas funções específicas. Não é incomum, entretanto, observarem-se modifica-

1: Células colapsadas.
2: Elementos ativos de tubos crivosos.
3: Câmbio.
4: Vaso.
5 e H.S.: Parênquima radial (raio).
6: Limite do anel de crescimento.
7: Fibras.
PA: Parênquima axial.
L: Placa de perfuração múltipla escalariforme.
A: Plano transversal.
B: Plano longitudinal tangencial.
C: Plano longitudinal radial.

***Figura 46 — Aspecto microscópico tridimensional do lenho de uma angiosperma — bétula* (Betula sp-Betulaceae).**
(Segundo Mägdefrau. *Apud:* Grosser, 1977.)

ções e adaptações citológicas em que uma célula assume outra atividade visando atender a determinada função fisiológica prioritária. Assim, por exemplo, em casos excepcionais, uma ou mais células de raio podem transformar-se em elementos de vasos para estabelecer o contato entre dois vasos próximos, visando maior eficiência na circulação de líquidos.

7. Noções de microtécnica para a microscopia ótica

Introdução

Muitos aspectos anatômicos da madeira podem ser constatados macroscopicamente. Para melhor visualizá-los, a superfície de observação deve ser previamente cortada com um instrumento afiado e eventualmente umedecida. Dispondo-se de lupa, consegue-se um melhor destaque dos detalhes estruturais, e aqui importa ressaltar o grande valor prático da identificação macroscópica de madeiras, uma vez que requer instrumentos simples, de baixo custo e pode ser executada em qualquer lugar. O aumento proporcionado pela lupa é, no entanto, insuficiente para se distinguir determinadas peculiaridades mais íntimas do xilema secundário, devendo-se para isto recorrer ao microscópio. Entre os vários existentes, os mais comuns são os óticos (ou de luz), mas para o seu uso a madeira precisa ser transformada em um objeto transparente, o que se consegue pela maceração ou cortando-se a mesma em seções muito finas. A microscopia exige procedimentos trabalhosos e a utilização de produtos químicos e equipamentos sofistica-

dos e de elevado custo. A microtécnica trata dos recursos, métodos e procedimentos de preparação do material — no caso, a madeira — para observações microscópicas.

Maceração

A maceração consiste em dissolver, por meio de agentes químicos, a lamela média que une as células, podendo-se então observar isoladamente estes elementos. A madeira assim preparada é usada para medições de diâmetro e comprimento de células, de grande interesse na fabricação de papel, e também para a observação de certos detalhes anatômicos peculiares, como espessamentos de parede, pontoações etc. Um dos processos de maceração mais empregado é o *método de Jeffrey,* que engloba as seguintes etapas:

1. Reduzir a madeira a pedacinhos de tamanho aproximado ao de meios palitos de fósforo, colocando-os a seguir em um tubo de ensaio com água.
2. Retirar o ar do material mediante aquecimento e resfriamento consecutivos (ou bomba de vácuo). O material estará pronto quando as lasquinhas de madeira permanecerem no fundo do tubo de ensaio.
3. Macerar o material pela adição de uma solução de partes iguais (1:1) de:

• solução aquosa de ácido nítrico a 10%;
• solução aquosa de ácido crômico a 10%.

O tempo de permanência nesta solução ácida depende da madeira (cerca de 24 horas). Faz-se, de tempos em tempos, um controle agitando-se o tubo de ensaio e observando-se o mesmo contra a luz. Quando houver uma quantidade suficiente de células dissociadas dispersas no líquido, o material deve ser retirado. Em caso de madeiras extremamente duras, a solução ácida poderá ser renovada no dia seguinte. Aquecimento (até 40°C) acelera o processo de maceração.

4. Colocar o material em funil com papel de filtro e lavar em água corrente.
5. Lavar uma vez com solução saturada de bicarbonato de sódio.
6. Lavar com água destilada.
7. Fechar a ponta do funil e derramar sobre o material um corante como, por exemplo, uma solução aquosa de safranina a 1% (ver *Coloração*). O tempo de coloração varia de 15 minutos a 6 horas.
8. Lavar com água para retirar o excesso de corante.
9. Desidratar pela adição rápida de álcool a 95%.
10. Passar por duas trocas de álcool absoluto.
11. Transferir o material para um recipiente no qual as células devem permanecer imersas em solução compatível com o meio de montagem a ser empregado na confecção das lâminas (exemplo: em xilol ao se usar Entellan, ou em álcool absoluto ao se usar Euparal).
12. Retirar, com o auxílio de uma pinça, uma pequena porção do material, dispondo-o sobre uma lâmina de vidro. Adicionar o meio de montagem e, com a ponta de um estilete, dispersar as células. Colocar cuidadosamente uma lamínula sobre o material. Deixar secar e levar ao microscópio para observação. Desejando-se apenas uma informação rápida, as lâminas poderão ser montadas simplesmente em água ou glicerina, após a lavagem para retirada do excesso de corante, dispensando-se as etapas 9 e 10. Como as células aparecem individualizadas na maceração, este processo nada diz sobre a sua disposição e organização. Consegue-se esta informação por meio de seções delgadas da superfícies da madeira.

Obtenção e preparo de seções delgadas de madeira

Retirada das amostras

Já foi visto no capítulo 3 que a madeira é observada nos três planos de corte: transversal (X), longitudinal radial

(R) e longitudinal tangencial (T). Retiram-se da peça de madeira bloquinhos de 1,5 cm de face transversal por 2 cm de faces longitudinais radial e tangencial, perfeitamente orientadas. Sempre que possível, recomenda-se um bloquinho específico para cada seção longitudinal.

Preparo do material

- *Madeira fresca:* esta é a condição ideal para secionar, pois o lenho se apresenta em seu estado natural. Para preservar esta condição, o material deve ser fixado embebendo-se o mesmo em uma solução especial como, por exemplo, FAA: 5 cc de formol, 5 cc de ácido acético glacial e 90 cc de álcool a 70%. Antes de ser cortada, a madeira deve ser lavada em água corrente.
  Para amolecimento de maldeiras verdes, estas devem passar por uma série sucessiva de soluções de glicerina a 30%, 50% e finalmente glicerina pura.
- *Madeira seca:* normalmente a madeira neste estado deve ser submetida a um processo de amolecimento e de retirada do ar, o qual consiste em colocá-la em uma solução de álcool, água e glicerina (1:1:1) e submetê-la a vácuo e temperaturas não superiores a 30-40°C, caso se deseje manter inalterados determinados conteúdos celulares, como por exemplo amido. Não sendo este o caso, a madeira poderá ser cozida na solução acima, ou simplesmente em água, até permanecer imersa no recipiente ou atingir o grau do amolecimento desejado. Em espécies muito duras o cozimento pode durar até várias semanas.

Em casos extremos, é possível amolecer a madeira mediante tratamentos químicos que dissolvem a lignina da parede celular. Um exemplo deste procedimento consiste em colocar os bloquinhos tirados da água em um preparado alcoólico fraco de água oxigenada a 5% e matê-los a 70°C. Após 24 horas, consegue-se um amolecimento e também um descoramento dos blocos de madeira. Outro procedimento seria o tratamento ácido (ácido hidrofluorídrico, ácido acético etc.). Antes de levada ao micrótomo, a madeira deve ser previamente armazenada em água.

Ao contrário, espécies extremamente moles ou madeiras deterioradas por microorganismos devem ser submetidas a métodos de inclusão, que têm por finalidade embebê-las em uma massa cortável (parafina, celoidina, polietilenoglicol etc.), a fim de torná-las aptas para o corte. Entre os vários procedimentos, o método simplificado de inclusão em polietilenoglicol (PEG) abaixo descrito dá bons resultados.

1. Ferver os bloquinhos para retirar o ar.
2. Colocá-los em um béquer imersos em uma solução de PEG a 20%.
3. Marcar o recipiente, dividindo-o em 5 partes (do fundo até a superfície da solução).
4. Levar o material para a estufa (65°C) por 3 a 4 dias. À medida que a água se evapora, a concentração da solução de PEG aumenta.
5. Quando a solução atingir 1/5 do seu volume inicial, transferir os bloquinhos para PEG puro derretido, onde deverão permanecer em estufa a 65°C por 12 a 25 horas.
6. Retirar os corpos de prova da solução e deixar esfriar à temperatura ambiente.
7. Secionar ao micrótomo (a seco).
8. Lavar os cortes em água para retirar o PEG.

Microtomia

Para uma observação mais grosseira, os cortes podem ser feitos à mão livre, com o auxílio de uma lâmina de barbear. Porém, para uma observação mais minuciosa, este trabalho deve ser executado por um equipamento de secionar preciso: o *micrótomo*. (Figura 47.)

Para se obter boas seções com micrótomo, a afiação das navalhas é de importância primordial. Esta pode ser feita

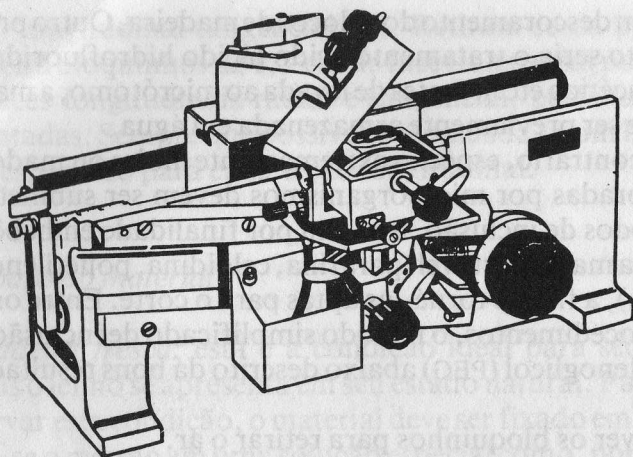



Figura 47 — Micrótomo.
Fonte: Instruction manual, Reichert.

manualmente sobre pedras especiais e requer grande habilidade e experiência do operador. Hoje, na maioria dos laboratórios, esta tarefa é executada por afiadores automáticos. O micrótomo permite a obtenção de seções finas, de espessuras prefixadas, que variam normalmente de 15 a 25 µm. O seu manuseio requer prática e destreza.

A superfície de corte depende da dureza do material e da estabilidade do micrótomo disponível. Em madeiras duras, mantêm-se as dimensões originais do bloquinho, para garantir uma boa fixação deste no aparelho, mas a superfície de corte pode ser reduzida como na figura 48.

As seções obtidas do micrótomo são removidas da superfície da navalha com o auxílio de um pincel molhado (exceto quando se trata de material incluído em PEG) e mantidas abertas em placa de Petri umedecida.

Descoloração

Esta etapa é facultativa. Madeiras naturalmente muito escuras ou com muitas incrustações podem ser previa-

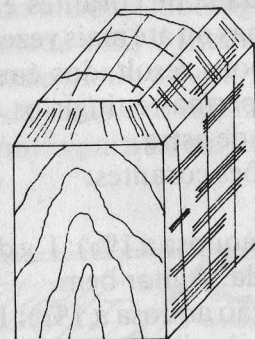



Figura 48 — Redução da superfície de corte para microtomia de madeiras duras.

mente descoradas pela lavagem dos cortes em água sanitária (*Eau de Javelle*), a fim de melhor receberem a tintura artificial.

Desejando-se observar a sílica nos cortes de madeira, o seguinte procedimento deve ser adotado:

- descolorir;
- lavar em água;
- desidratar em álcool absoluto;
- montar lâminas em óleo de cravo.

Coloração

As seções de madeira podem ser observadas ao microscópio em condições naturais. Dispensando-se esta etapa, porém, é comum tingi-las artificialmente, a fim de se obter um melhor destaque das paredes celulares. Além de realçá-las, os corantes também são empregados para diferenciar tecidos e identificar certos conteúdos celulares. A safranina, por exemplo, apresenta grande afinidade com a lignina, destacando sobremaneira os tecidos lignificados do xilema.

Existe uma infinidade de corantes e as seções poderão ser coloridas uma, duas ou até mais vezes. Um procedimento que vem dando bons resultados em laboratórios para madeiras de gimnospermas é tingir os cortes duplamente com safranina e azul de astra.

Preparo das soluções corantes:

- *Safranina* (solução aquosa a 1%): 1 g de safranina em 100 ml de água destilada. Agitar bem.
- *Azul de astra* (solução aquosa a 1%): 1 g de azul de astra em 100 ml de água destilada e mais três gotas de ácido acético glacial. Agitar bem.

Procedimento — Formar uma solução única — Safrablau — com 70% de azul de astra e 30% de safranina e derramá-la sobre os cortes, deixando-os imersos por um período de 15 minutos a 2 horas. Cada corante também pode ser aplicado separadamente, procedendo-se à lavagem dos cortes entre um e outro. Decorrido o tempo de coloração, o material é lavado em água corrente.

Montagem de lâminas

Para uma observação rápida, pode-se montar lâminas provisórias simplesmente em água ou glicerina. Porém, desejando-se lâminas permanentes, os cortes serão desidratados mediante a passagem por uma série alcoólica crescente (30%, 50%, 70%, 95% e duas vezes álcool absoluto). Finalmente permanecerão imersos em solução (exemplos: álcool absoluto ou xilol) compatível com o meio de montagem escolhido para a montagem das lâminas.

Com o auxílio de pinça, cada corte é depositado sobre uma lâmina de vidro, na qual poderá ter suas bordas aparadas e o seu tamanho reduzido com o auxílio de lâminas de barbear. Em regra, uma lâmina deve conter os três cortes: transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial. Estando estes devidamente dispostos sobre a lâmina, adi-

ciona-se uma gota do meio de montagem (Entellan, Eupa-ral, bálsamo-do-canadá etc.) e finalmente coloca-se uma lamínula sobre eles, de modo a evitar o surgimento de bolhas de ar. Depois de secas e devidamente etiquetadas, as lâminas estarão prontas para serem observadas ao microscópio. (Figura 49.)

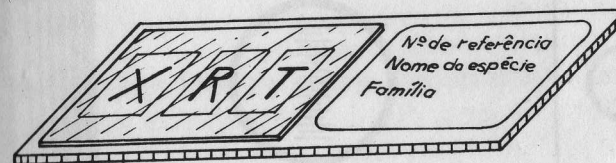



Figura 49 — Modelo de lâmina com cortes de madeira para microscopia ótica.

O número de referência mencionado na etiqueta da lâmina deve permitir, sempre que desejado, acesso à amostra da madeira correspondente em xiloteca, bem como ao material botânico de herbário.

8. Descrição anatômica de madeiras

Internacionalmente, é a IAWA (International Association of Wood Anatomists) que coordena e divulga muitos trabalhos e a nomenclatura para a descrição anatômica de madeiras.

Na América Latina, num esforço para padronizar a descrição anatômica e testes físicos e mecânicos com madeiras, foram elaboradas as Normas COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas), em 1973. Embora deficientes, constituem os documentos oficiais a serem tomados como base para a descrição anatômica de madeiras: COPANT 30-1-020 para gimnospermas e COPANT 30-1-019 para angiospermas.

De acordo com as referidas normas, além das observações qualitativas, é necessária uma série de medições macro e microscópicas para a caracterização e descrição da madeira, tais como: freqüência de poros por mm, diâmetro de poros, comprimento de células, espessura de paredes celulares etc.

Para se realizar medições sob o microscópio, uma vez preparadas as lâminas, os seguintes dispositivos são necessários: ocular de medição, escala micrométrica da ocular e escala micrométrica objeto. (Figura 50.)

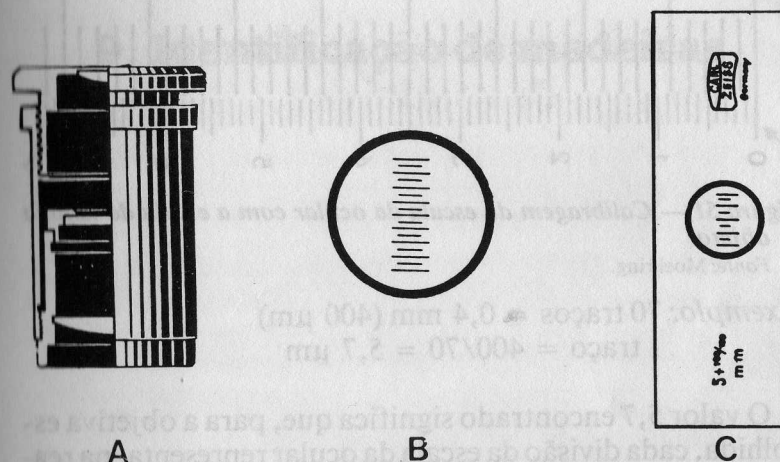



Figura 50 — Acessórios necessários para a realização de medições sob o microscópio: A — Ocular de medição; B — Escala micrométrica da ocular; C — Escala micrométrica objeto.
Fonte: Moellring.

A ocular de medições consiste em uma ocular especial que permite a introdução de uma lente contendo uma escala micrométrica, a qual, valendo-se do movimento giratório da ocular, é empregada para efetuar as medições. Finalmente, a escala micrométrica objeto é uma lâmina que contém uma escala de referência de dimensões conhecidas. Normalmente é dividida em unidades de 1/100 mm e serve para determinar o valor real de cada unidade da escala da ocular para as diversas objetivas do microscópio, uma vez que o seu tamanho se altera conforme a objetiva empregada. Esta determinação é feita da seguinte maneira: escolhendo-se uma objetiva, coloca-se a escala da ocular em posição perfeitamente paralela à escala objeto (Figura 51) e compara-se quantas divisões da escala da ocular correspondem à determinada distância na escala objeto.

Figura 51 — Calibragem da escala da ocular com a escala da lâmina objeto.
Fonte: Moellring.

Exemplo: 70 traços = 0,4 mm (400 μm)
1 traço = 400/70 = 5,7 μm

O valor 5,7 encontrado significa que, para a objetiva escolhida, cada divisão da escala da ocular representa, na realidade, 5,7 μm. Assim, por exemplo, se o diâmetro de um poro corresponder a 4 divisões da escala da ocular, este valor deve ser multiplicado por 5,7 (fator de multiplicação da objetiva): 4 x 5,7 = 228 μm, valor que representa o diâmetro real do poro.

Da mesma forma determinam-se os fatores de multiplicação para as demais objetivas do microscópio.

A ocular de medição, escala da ocular e escala micrométrica objeto são dispositivos imprescindíveis para se efetuar medições ao microscópio, embora existam muitos outros acessórios que visam facilitar aferições quantitativas, como por exemplo: micrômetro com figura de contraste, micrômetro de retículo etc., além de aparelhos sofisticados acopláveis a computadores eletrônicos, nos quais freqüentemente a imagem do objeto a ser medido aparece aumentada em mesas ou telas.

9. Identificação de madeiras

Chaves de identificação

O método mais comumente empregado para a identificação tanto macro como microscópica de madeiras é o de chaves de identificação (normalmente dicotômicas), as quais podem levar a uma identificação a nível de família, gênero ou até espécie.

Observando-se as características da madeira a ser identificada, segue-se a chave como no exemplo abaixo:

1a. Canais intercelulares presentes................ 2
- 2a. Canais intercelulares exclusivamente axiais... copaíba (*Copaifera langsdorfii* Desf.-*Leg. Caesalpiniaceae*)
- 2b. Canais intercelulares exclusivamente radiais... tapiá-mirim (*Alchornea triplinervia* (Spr.) Muell. Arg. *Euphorbiaceae*)

1b. Canais intercelulares ausentes................. 3
- 3a. Estrutura estratificada... jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Allem.-*Leg. Fabaceae*)
- 3b. Estrutura não estratificada... bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.-*Leg. Mimosaceae*)

Uma determinação anatômica feita por meio de chaves de identificação deve ser sempre confirmada pela comparação com amostras de xiloteca e/ou laminário de identidade. Caso este material não for disponível, a comparação deverá ser feita com descrições anatômicas existentes na literatura.

Cartões perfurados

Consiste este método de cartões (Figura 52) nos quais estão impressas, de forma sucinta, várias características anatômicas da madeira, distribuição geográfica e algumas propriedades.

As características presentes em uma determinada espécie são assinaladas com um alicate especial, cortando-se o furo do cartão a ela correspondente. Caracteres predominantes recebem um traço vertical adicional sobre o picote.

Assim, desejando-se identificar uma espécie, toma-se a coleção de cartões já perfurados, reunidos em um bloco bem ajustado e passa-se a comparar, uma a uma, as características anatômicas presentes na amostra a ser identificada com as impressas nos cartões. Se a espécie apresenta, por exemplo, raios exclusivamente unisseriados, introduz-se uma agulha fina de tricô no furo dos cartões correspondente a esta característica e levanta-se a mesma. Com este procedimento, serão eliminados com a agulha os cartões de espécies que não apresentam unicamente raios unisseriados e permanecerão todos aqueles de madeiras que possuem esta característica. Prossegue-se a identificação, considerando-se outro caráter presente na amostra em questão, como por exemplo um parênquima axial difuso, e procede-se como acima tomando-se agora apenas os cartões remanescentes. Continua-se assim, sucessivamente, até restar um único cartão que será o da mesma espécie da amostra que se deseja identificar.

Figura 52 — Cartão perfurado para a identificação de madeiras.

Fonte: Desch, 1962.

Computadores

Computadores são hoje em dia amplamente empregados na identificação de madeiras. Para a sua aplicação, as características anatômicas são codificadas e os caracteres das espécies são registrados em cartões, fitas ou discos. Desejando-se identificar uma amostra de madeira, basta levar suas características anatômicas ao computador, que este as comparará com as das espécies registradas em sua memória, identificando-as prontamente.

Computadores vêm sendo empregados nas mais variadas formas: estereologia, taxonomia numérica, tanto em simples identificação como em estudos mais complexos, tais como os que visam agrupar espécies taxonomicamente semelhantes, separar espécies relacionadas, prever propriedades e uso potencial de madeiras etc.

O valor dos computadores sob este aspecto é indiscutível. Mas não bastam informações somente codificadas para a identificação e classificação de espécies com base na estrutura anatômica da madeira. É imprescindível, também, uma interpretação e análise visual em termos diagnósticos.

10. Relação entre a estrutura anatômica da madeira e suas propriedades e comportamento tecnológico

Uma das grandes limitações práticas da madeira é a sua heterogeneidade, anisotropia e variabilidade. Nem mesmo dois pedaços de madeira de uma mesma espécie são absolutamente iguais. Estas diferenças podem ser atribuídas às condições ecológicas do local onde o vegetal cresce, à localização da amostra no tronco (altura, distância da medula, posição do anel de crescimento), aos defeitos da madeira etc.

Como afirma Esau (1959), a composição do lenho, a estrutura e a organização de seus elementos constituintes são os fatores que determinam as propriedades físicas da madeira e a sua aptidão para o uso comercial.

O assunto em questão é muito amplo e complexo. Um aprofundamento da matéria caberia a um nível de estudos bem mais especializados. Analisar-se-ão, portanto, brevemente neste capítulo algumas das principais propriedades tecnológicas e utilizações em relação à estrutura anatômica da madeira.

Massa específica e resistência mecânica

A massa específica, que reflete a composição química e o volume de matéria lenhosa por peso, é talvez a característica tecnológica mais importante da madeira, pois dela dependem estreitamente outras propriedades, tais como a resistência mecânica, o grau de instabilidade dimensional pela perda ou absorção de água etc.

A massa específica da matéria lenhosa, denominada massa específica real, oscila entre 1,40 e 1,62 g/cm³. Entretanto, devido à variação nas dimensões e proporções dos diversos tecidos lenhosos, a massa específica das madeiras varia entre 0,13 e 1,4 g/cm³, conforme se comentou em *Massa específica*. O grau de resistência mecânica que se pode deduzir da massa específica é, no entanto, altamente modificado pela estrutura histológica, que se manifesta no comprimento, espessura das membranas, quantidade de pontoações nas paredes etc.

As fibras libriformes e fibrotraqueóides são os elementos mais importantes no que diz respeito à resistência mecânica do lenho das dicotiledôneas. A estreita correlação entre volume de fibras, massa específica e resistência mecânica é um fato experimentalmente comprovado.

Os vasos, devido à sua grande dimensão e às paredes delgadas, são estruturas fracas, e sua abundância, dimensão e distribuição influem na resistência mecânica da madeira. O lenho com porosidade em anel (poros grandes acumulados no início do período vegetativo) é menos resistente a determinados esforços do que o lenho com porosidade difusa (poros distribuídos uniformemente ao longo do anel de crescimento). O parênquima axial é também um tecido fraco, cuja abundância (23-100% do volume total do lenho em dicotiledôneas) e distribuição, principalmente quando se apresenta formando amplas faixas contínuas, podem reduzir consideravelmente a resistência mecânica da madeira. A relação entre os raios (parênquima radial) e a resistência mecânica do lenho é mais complexa pelo fato de que os lenhos com maior volume deste tecido são muito especializados e contêm um grande volume de fibras com paredes espessas, o que lhes confere elevada massa específica. Entretanto, se duas espécies apresentam a mesma massa específica, mas volumes distintos de parênquima radial, o lenho com maior quantidade deste tecido será o mais fraco. A fragilidade do tecido parenquimático dos raios é bem ilustrada pelas freqüentes rachaduras radiais que surgem no tronco como resultado das tensões internas de secagem.

Nas gimnospermas, o lenho tardio é geralmente mais resistente, devido ao maior volume de material lenhoso nas paredes de suas células. A massa específica e a resistência mecânica são afetadas pela percentagem de lenho tardio no anel e pela regularidade na largura dos anéis de crescimento.

A grã da madeira também influi na sua resistência a esforços mecânicos. Peças com grã oblíqua, por exemplo, rompem-se facilmente ao longo da direção da inclinação quando submetidas a esforços.

A própria estrutura submicroscópica da parede celular reflete-se na resistência mecânica: quanto mais vertical for a orientação das microfibrilas de celulose, maior será a resistência à tração; quanto mais horizontal o seu grau de inclinação, maior será a resistência a esforços de compressão.

Durabilidade natural

Por durabilidade ou resistência natural entende-se o grau de suscetibilidade da madeira ao ataque de agentes destruidores, como fungos, insetos, brocas marinhas etc., e à ação de intempéries.

Em geral, as madeiras de alta massa específica, por apresentarem uma estrutura mais fechada e freqüentemente elevado teor de substâncias especiais impregnando as paredes de suas células, são mais resistentes à ação destes agentes. A presença de tais materiais (sílica, alcalóides, taninos), normalmente de ocorrência mais acentuada no cerne dos troncos, aumenta a durabilidade natural da madeira, devido ao efeito tóxico que freqüentemente apresentam sobre

os agentes xilófagos. À sílica atribui-se a acentuada durabilidade natural de certas madeiras utilizadas em contato com a água do mar, uso considerado como o que apresenta as condições mais drásticas e severas, conforme já se comentou em *Cristais e sílica*.

Usualmente, a presença de substâncias especiais no lenho produz na madeira uma coloração acentuada, e é por isso que madeiras escuras são em geral mais duráveis, fenômeno também observado no cerne, que é a parte mais escura do tronco (ver *Cerne* e *alburno*).

A grande abundância de tecido parenquimático (raios e parênquima axial) proporciona baixa durabilidade natural à madeira, uma vez que se trata de tecido mole e de fácil penetração, e sobretudo por atrair os agentes destruidores em virtude dos conteúdos nutritivos armazenados em suas células (amidos, açúcares, proteínas etc.). A localização do parênquima no lenho também pode favorecer o desenvolvimento de certos insetos xilófagos. No caso do parênquima axial paratraqueal, as larvas, assim que eclodem dos ovos depositados nas cavidades dos vasos, encontram logo a seu alcance os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento.

Permeabilidade

A permeabilidade é uma característica importante sob o aspecto da secagem, preservação de madeiras e fabricação de polpa e papel. Em geral, madeiras de alta massa específica são mais difíceis de serem secadas e impregnadas com soluções preservativas por apresentarem volume menor de espaços vazios para a circulação de fluidos.

A maior penetração ou eliminação de líquidos nas madeiras se dá, obviamente, sobretudo, por meio dos elementos estruturais que desempenham primordialmente a função de condução no lenho: os vasos nas angiospermas, os traqueóides axiais e transversais nas gimnospermas, e os raios em ambas.

Nas angiospermas, aspectos anatômicos como tamanho, abundância, distribuição dos poros e a presença ou não de substâncias obstrutoras (gomo-resinas, tilos etc.) influem grandemente no grau de permeabilidade. O lenho inicial de espécies com porosidade em anel, por exemplo, é nitidamente mais permeável do que o lenho tardio. Naturalmente, os outros elementos anatômicos têm também, embora em grau menos acentuado, a sua importância.

O parênquima axial é mais permeável do que as fibras e, portanto, as proporções com que estes elementos ocorrem no lenho repercutem sobre esta característica. Nas gimnospermas, o estado das pontoações areoladas das paredes dos traqueóides axiais (aspiradas ou não) é de grande importância para o grau de permeabilidade da madeira (Figura 6), pois elas constituem as vias naturais de passagem de líquidos de célula para célula. Dentro do anel de crescimento, o lenho inicial, com seus elementos celulares de lumes grandes e muitas pontoações areoladas, é mais permeável do que o lenho tardio.

A própria estrutura geral da madeira (com a maioria dos elementos constituintes disposta verticalmente no tronco) explica o fato de que a permeabilidade é maior no sentido axial do que no sentido transversal. Uma prática simples para impedir uma rápida perda de umidade de tronco abatido, visando minimizar a ocorrência de rachaduras de secagem, consiste em vedar suas faces transversais extremas pela aplicação de produtos impermeabilizantes. A presença de substâncias especiais como gomas, resinas, látex etc. e canais celulares e intercelulares pode afetar a penetração de preservativos e a secagem de madeiras por se liquefazerem, obstruindo assim a passagem dos fluidos.

Trabalhabilidade

O termo *trabalhabilidade* refere-se ao grau de facilidade de se processar a madeira com instrumentos. Em primeiro lugar, a grã da madeira fornece uma idéia da facilidade

de se conseguir um bom acabamento superficial das peças. Madeiras com grã reta não apresentam dificuldades neste sentido, porém aquelas com grã irregulares apresentam superfície áspera nas regiões nas quais o instrumento passa em sentido contrário à direção normal dos tecidos.

Madeiras excessivamente moles (baixa massa específica) apresentam também dificuldades quanto à obtenção de superfícies lisas, pela ocorrência de um arrancamento das células destes tecidos frágeis, resultando numa superfície aveludada. Por outro lado, espécies com massa específica muito alta são difíceis de ser trabalhadas, por provocarem grande desgaste das ferramentas em vista de sua acentuada dureza.

Substâncias especiais presentes em certas espécies (canais celulares e intercelulares, células oleíferas etc.) causam dificuldades nas operações de desdobro e processamento quando agressivas à saúde ou por se aderirem às serras ou facas dos equipamentos (ver *Defeitos causados por agentes bióticos e climáticos*). Um caso especial sob este aspecto é a presença de sílica (ver *Cristais e sílica*) nas células, substância que apresenta elevadíssimo grau de dureza e que, quando presente em grande abundância, é capaz de tornar antieconômico o aproveitamento da madeira, pelos danos que produz nos equipamentos.

Instabilidade dimensional

A madeira é um material altamente higroscópico e apresenta os fenômenos de contração e inchamento pela perda ou absorção de umidade. A entrada de água entre as moléculas de celulose da parede celular provoca o afastamento das mesmas e, como conseqüência, o inchamento. O processo contrário produz a aproximação das moléculas de celulose, resultando na contração da madeira.

Uma vez que a contração e o inchamento ocorrem pela entrada e saída de água das paredes celulares, madeiras que possuem em abundância células de paredes espessas

(alta massa específica) apresentam estes fenômenos em grau mais acentuado. A anisotropia da madeira, no que diz respeito à sua alteração dimensional devido à secagem, é um fato conhecido e que pode ser calculado para cada espécie. Entretanto, se a peça considerada apresentar desvios de grã, a sua retração fugirá aos padrões normais previstos, além de provocar deformações na mesma.

Comportamento em face da colagem e aplicação de revestimentos superficiais

A textura da madeira tem grande importância sob este aspecto. Madeiras com textura grosseira absorvem em grande quantidade as substâncias que lhe são aplicadas. No caso de pinturas, são necessárias várias demãos para se obter um bom acabamento. Sob o ponto de vista da colagem, a excessiva absorção do adesivo por uma superfície porosa pode causar uma má aderência, além do perigo de ultrapassagem da cola até a outra face do compensado, prejudicando a sua aparência. Ao contrário, em madeiras de estrutura muito fechada e superfícies lisas, haverá deficiência de penetração do adesivo, reduzindo a área de colagem e acarretando conseqüentemente uma linha de cola fraca.

A presença de substâncias especiais (canais secretores, células oleíferas, conteúdos nos vasos) pode em muitos casos dificultar os processos de colagem e a aplicação de revestimentos superficiais como pinturas, vernizes etc., pois estas substâncias, espalhando-se sobre a superfície das peças, impedem a aderência dos adesivos ou agem como inibidoras do processo químico de ligamento da cola (cura da cola).

Fabricação de polpa e papel

Madeiras com grande volume de células de grande comprimento são comumente preferidas na fabricação de pol-

pa e papel graças às boas propriedades de resistência ligadas a esta característica. Para que uma madeira preencha este requisito, deve apresentar alta proporção de fibras (angiospermas) ou de traqueóides axiais (gimnospermas) e pouco tecido parenquimático, uma vez que células parenquimáticas são células curtas. O grande comprimento dos traqueóides axiais é responsável pela fama de que gozam as coníferas como produtoras de papel de melhores qualidades. Na realidade, com um processo de fabricação adequado, é possível obter-se de folhosas produtos de qualidade semelhante ou até superior à das coníferas em certos aspectos como, por exemplo, no comprimento de rasgo. As células das folhosas, por serem mais curtas, são facilmente dispersas, apresentando menor tendência à formação de flocos na esteira. Sem dúvida, o comprimento das células contribui para as propriedades de resistência do papel, porém mais importante é o comportamento das células no processo de desfibramento. (Figura 53.)

Madeiras de massa específica muito elevada apresentam, normalmente, grande percentagem de células com paredes espessas e rijas. Estas células mantêm em alta proporção a sua forma tubular após o desfibramento, apresentando pouca área de contato entre elas, o que implica redução da resistência mecânica. Originam um papel volumoso, grosseiro, poroso, com alta capacidade de absorção e elevada elasticidade sob pressão. Ao contrário, as células provenientes de madeiras de menor massa específica se amoldam melhor, apresentando maior área de contato e conseqüentemente maior resistência mecânica. Produzem um papel mais compacto, menos opaco e poroso, de superfície homogênea e de maior resistência ao estouro.

Nas gimnospermas, a percentagem de lenho inicial e tardio no anel de crescimento, com suas conseqüências nas propriedades das células, constitui talvez o fator morfológico mais importante a influenciar as características do papel, tais como resistência, porosidade, capacidade de absorção, opacidade, cor etc.

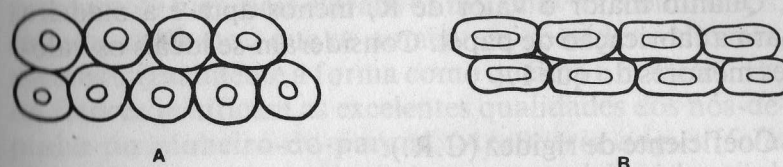



Figura 53 — Comportamento das células provenientes de madeiras de alta e baixa massas específicas na fabricação de polpa e papel: A — Células provenientes de madeira de alta massa específica mostrando a pouca área de contato entre elas por manterem a sua forma tubular após o desfibramento; B — Células provenientes de madeiras de massa específica mais baixa, mostrando a maior área de contato entre elas por se achatarem e se amoldarem melhor.

Em madeiras com massa específica muito alta, não há boa flutuação da pasta, havendo risco de afundamento. Além disso, a elevada dureza das madeiras implica um maior consumo de energia e desgaste dos equipamentos na operação de desfibramento mecânico.

Em gimnospermas, o lume dos traqueóides axiais e o sistema de pontoações e a sua organização desempenham papel importante no processo sulfito quanto à difusão das substâncias químicas. Analogamente, em angiospermas, a desobstrução dos vasos, seu diâmetro e distribuição no lenho repercutem na eficiência da penetração dessas substâncias químicas.

A faixa ideal de massa específica para a produção de papel situa-se entre 0,4 e 0,6 g/cm^3.

Na fabricação de polpa e papel é comum a referência à aptidão da madeira em termos de coeficientes e fatores que expressam relações entre características anatômicas das células. A título de exemplo pode-se citar:

- Fator Runkel (R):

$$R = \frac{2.e}{d}, \text{ em que:}$$

e: espessura da parede celular
d: diâmetro interno da célula

Quanto maior o valor de R, menos apta é a madeira para a fabricação de papel. Consideram-se ideais os valores menores do que 1.

• Coeficiente de rigidez (C.R.):

CR = d/D . 100 (%), em que:

d: diâmetro interno da célula
D: diâmetro externo da célula

Quanto maior o C.R., maior será o achatamento e melhor o amoldamento das células. Um alto valor significa a existência de células de paredes finas.

• Coeficiente de flexibilidade de Peteri (P):

P = L/D, em que:

L: comprimento da célula
D: diâmetro externo da célula

A presença de canais secretores e conteúdos especiais como gomas, resinas, látex etc. é indesejável por serem substâncias estranhas ao processo, que geralmente causam problemas na operação de cozimento e por se depositarem nas peneiras, superfícies metálicas e filtros.

Madeiras de cores escuras podem comprometer a aparência do produto final ou implicar gasto maior de produto químico de branqueamento.

Combustibilidade

É determinada primeiramente pela massa específica e o teor de umidade.

Madeiras de alta massa específica queimam melhor, uma vez que apresentam maior quantidade de matéria lenhosa por volume. A combustibilidade e o poder calorífico são altamente influenciados pelo teor de lignina e pela

presença de materiais extrativos inflamáveis, como óleos, resinas, ceras etc., que os aumentam consideravelmente, afetando igualmente a forma como queima a madeira. Estes fatores justificam as excelentes qualidades dos nós-de-pinho do pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.-*Araucariaceae*) como material combustível.

A presença de substâncias extrativas é também responsável pelo odor exalado pela madeira durante a combustão, como por exemplo a do cerne de pau-santo (*Bulnesia sarmienti* Lorentz-*Zygophyllaceae*), que contém muita gomo-resina e é utilizado como incenso.

Sob o aspecto de carbonização, madeiras que apresentam substâncias especiais não devem ser empregadas como fonte de energia calorífica para o cozimento ou defumação de produtos alimentícios, uma vez que o cheiro exalado pode alterar o seu sabor. Em alguns casos, entretanto, podem conferir um gosto e aroma peculiares e desejados ao produto.

Aparência decorativa

Em *Desenho* já foram consideradas as várias características que influem na formação do desenho natural da madeira, propriedade de grande importância na sua comercialização sob o aspecto decorativo.

11. Defeitos da madeira

São considerados defeitos as anomalias e também as estruturas normais que possam desvalorizar, prejudicar, limitar ou impedir o aproveitamento da madeira.

Defeitos na forma do tronco

Tortuosidades

Constituem defeitos, principalmente de ordem econômica, por não permitirem um aproveitamento do volume total das toras (Figura 54). Peças de madeira oriundas de troncos tortuosos apresentarão grãs irregulares que comprometem a resistência mecânica, causam dificuldades de acabamento e provocam deformações de secagem (ver *Grãs irregulares*).

As principais causas deste defeito são: hereditariedade, condições de crescimento, inclinação do terreno, ação de ventos fortes, fototropismo, concorrência etc.

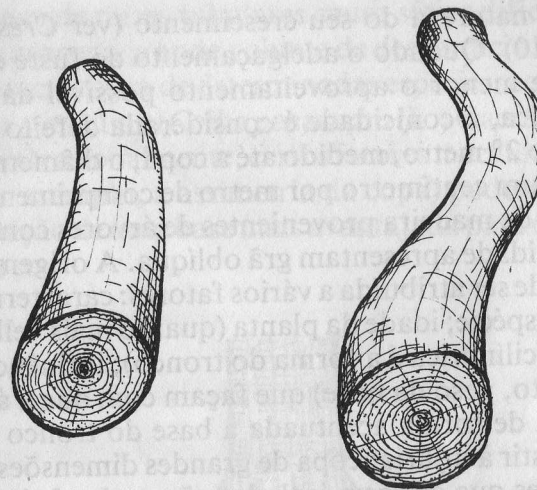



Figura 54 — Exemplos de tortuosidades do tronco.

Bifurcação ou aforquilhamento

Como o anterior, constitui defeito sobretudo sob o aspecto econômico, por reduzir o volume aproveitável das toras. Na árvore viva, a bifurcação é uma parte suscetível a apodrecimentos devido a ferimentos na casca, rachaduras e acúmulo de água que freqüentemente ocorrem nesta região. Os principais responsáveis por esta formação são desenvolvimento de brotos apicais próximos, perda repetida da gema terminal por roeduras, ataques de insetos, geadas tardias e predisposição natural a esta formação. Desenhos ornamentais especiais surgidos nas zonas de bifurcações em decorrência do desvio dos tecidos são muitas vezes especialmente procurados para fins decorativos.

Conicidade acentuada

A forma ideal de tronco é a cilíndrica, mas a conicidade é uma característica normal em certas árvores, devido à

própria natureza do seu crescimento (ver *Crescimento* e Figura 10). Quando o adelgaçamento do fuste é abrupto, torna-se menor o aproveitamento possível da madeira. Na prática, a conicidade é considerada defeito quando a partir do 2º metro, medido até a copa, o diâmetro diminui mais de um centímetro por metro de comprimento.

Peças de madeira provenientes de árvores com acentuada conicidade apresentam grã oblíqua. A origem deste defeito pode ser atribuída a vários fatores: característica própria da espécie; idade da planta (quanto mais velha a árvore, mais cilíndrica é a forma do tronco); influências externas (vento, peso da neve) que façam com que a árvore desenvolva de forma acentuada a base do tronco para melhor resistir à injúria; copa de grandes dimensões etc.

Árvores que crescem isoladas são mais cônicas do que as que se desenvolvem em povoamentos. Este defeito pode ser em parte controlado por medidas silviculturais adequadas, como podas, espaçamento etc.

Existem várias teorias explicativas da forma do tronco:

- *Teoria nutricional:* a forma é o resultado do equilíbrio entre a transpiração e a assimilação.
- *Teoria da condução de água:* a forma do tronco resulta do esforço para manter o equilíbrio do fluxo de líquidos entre a raiz e a copa.
- *Teoria mecânica:* a forma do tronco é influenciada pelo peso da árvore, ação do vento, gelo e neve no inverno.
- *Teoria hormonal:* a forma do tronco deriva dos gradientes de translocação de hormônios de crescimento.

Sapopemas, contrafortes ou raízes tabulares

Sapopemas (do tupi *sau'pema* = raiz chata) são saliências verticais, mais ou menos estreitas e achatadas, que ocorrem na periferia de troncos de certas espécies, como prolongamento das raízes laterais, podendo estender-se até grande altura no fuste (Figura 55). A seção transversal na região dos contrafortes mostra um contorno irregular.

A presença de raízes tubulares causa sérias dificuldades no abate e acarreta grande volume de desperdício. Constitui uma característica de determinadas espécies, como, por exemplo, a sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.-*Bombacaceae*). Ocasionalmente, certos fatores mecânicos e culturais (por exemplo, a assimetria da copa) podem favorecer a formação de uma base mais avantajada para compensar o esforço.

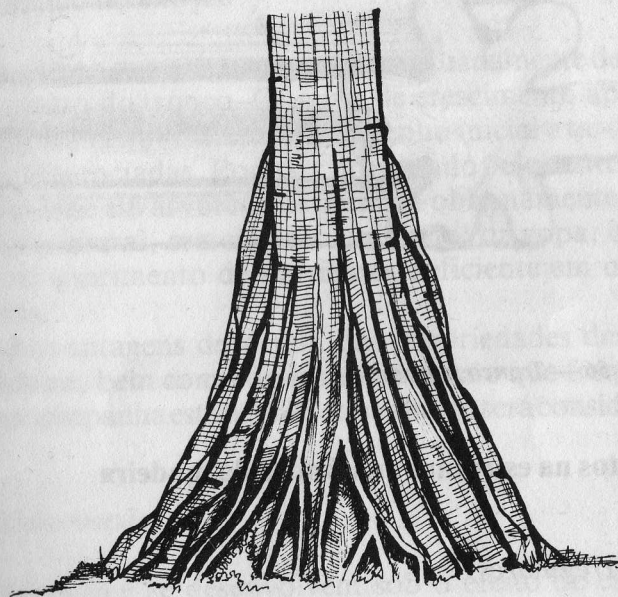



Figura 55 — Tronco com contrafortes ou sapopemas.

Sulcos

Quando muito profundos, conferem à periferia do fuste um contorno irregular e cheio de reentrâncias, muitas vezes impedindo a conversão das toras em madeira serrada. (Figura 56.)

Por este motivo, os troncos de muitas espécies que apresentam esta característica são empregados inteiros em obras

de construção, principalmente como pilares rústicos muito decorativos. Exemplo: acariquara (*Minquartia guianensis* (Aubl.)-*Olacaceae*).

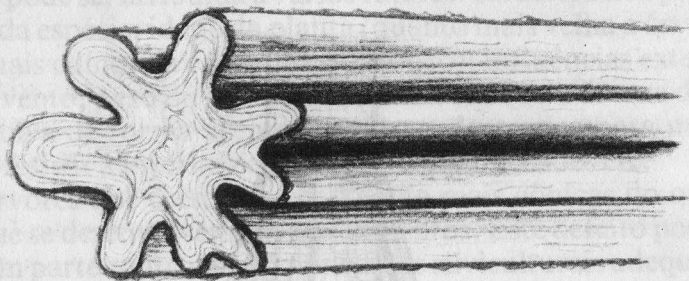



Figura 56 — Tronco sulcado.

Defeitos na estrutura anatômica da madeira

Grãs irregulares

Em *Grãs irregulares* foram tratados os diversos tipos, com destaque especial para suas desvantagens na utilização da madeira.

Largura irregular dos anéis de crescimento

Uma árvore que apresenta esta característica fornecerá material com propriedades heterogêneas. A presença esporádica de um largo anel de crescimento na madeira representa normalmente uma zona de maior fragilidade a determinados esforços mecânicos (por exemplo: cisalhamento). As causas deste fenômeno são os tratos silviculturais e condições de crescimento, conforme ocorre, por exemplo, com árvore que cresce inicialmente em um povoamento denso, no qual depois são derrubadas árvores vizinhas, passando ela então a crescer isoladamente e sem competição. Este defeito pode ser evitado por medidas silviculturais corretas.

Crescimento excêntrico

Caracteriza-se por uma medula acentuadamente deslocada do centro do tronco. Os anéis de crescimento apresentam largura variável e as zonas de lenho inicial e tardio são pouco diferenciadas. Pode ser provocado pelo vento, ação da gravidade em árvores que crescem obliquamente, forte insolação lateral, crescimento unilateral da copa, que resulta em suprimento de nutrientes deficiente em um dos lados etc.

As desvantagens decorrem das propriedades desiguais da madeira, bem como do lenho de reação que freqüentemente acompanha este defeito e que abaixo será considerado.

Lenho de reação

Árvores que se desenvolvem sob o efeito de esforços externos contínuos formam tipos especiais de lenho, provavelmente devido a um estímulo assimétrico de hormônios de crescimento, visando compensar o esforço imposto.

Este tipo especial de lenho tem o nome genérico de *lenho de reação*. Nas gimnospermas, o lenho de reação surge sempre na porção sujeita à compressão: *lenho de compressão*, enquanto que nas angiospermas dicotiledôneas este se localiza na zona tracionada: *lenho de tração*. (Figura 57.)

É comum a ocorrência deste defeito em árvores que apresentam troncos curvos, por exemplo, por crescerem em encostas acentuadamente inclinadas, ou na base de ramos.

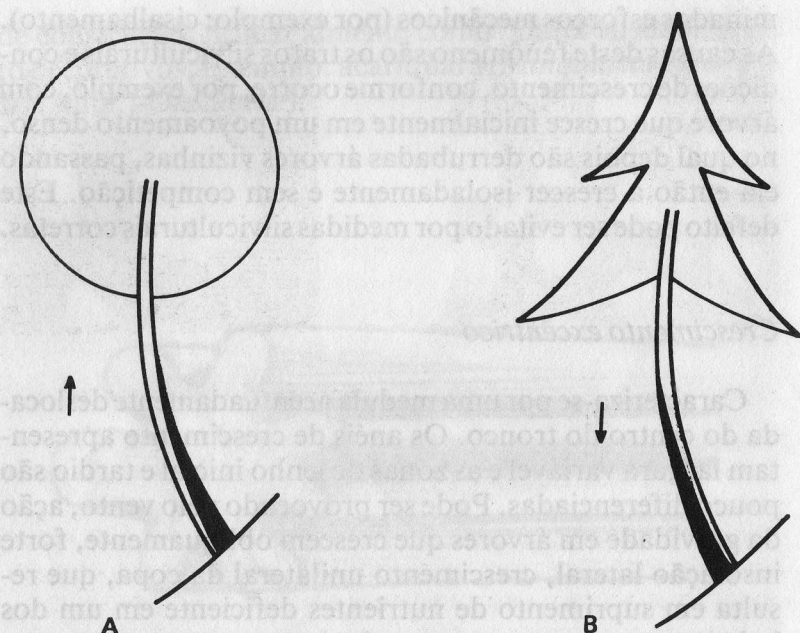



Figura 57 — Lenho de reação: A — Lenho de tração (angiosperma dicotiledônea); B — Lenho de compressão (gimnosperma).
Fonte: Carvalho, 1957, adaptado.

Entretanto, nem sempre a sua presença pode ser detectada em árvores vivas, pois muitas vezes está presente em indivíduos que apresentam externamente troncos cilíndricos e verticais.

Lenho de compressão

O *lenho de compressão* caracteriza-se macroscopicamente pela presença de crescimento excêntrico, transição quase indistinta entre lenho inicial e tardio, devido ao fato de as células do primeiro apresentarem paredes mais espessas que o normal, aparência sem brilho e cor mais forte que o tecido são. (Figura 58.)

Microscopicamente, os traqueóides do lenho de compressão revelam um contorno arredondado, deixando conse-

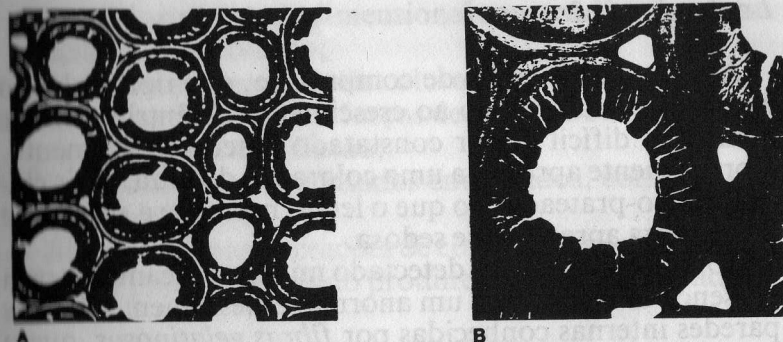



Figura 58 — Aspecto do lenho de compressão: A — Ao microscópio ótico; B — Ao microscópio eletrônico.
Fonte: Kollmann, 1959.

qüentemente entre eles espaços intercelulares. Em seção longitudinal observam-se rachaduras oblíquas em suas paredes, que afetam enormemente a resistência mecânica.

Este tipo de lenho possui conseqüentemente propriedades bem distintas do lenho normal, com importantes conseqüências para as qualidades e utilização da madeira.

São elas as seguintes:

— excessiva dureza;
— elevado conteúdo de lignina e baixo conteúdo em celulose;
— orientação espiralada da estrutura fibrilar submicroscópica e ausência da camada S_3 da parede celular etc.

Suas principais conseqüências são:

— a madeira tem comportamento desigual;
— apresenta elevada instabilidade dimensional;
— é quebradiça;
— tem baixas qualidades de trabalhabilidade;
— é propensa a empenamentos por ocasião da secagem;
— tem uma coloração típica que pode diminuir o seu valor;
— apresenta maior resistência à compressão axial e perpendicular.

Lenho de tração

Assim como o lenho de compressão, este tipo de lenho é geralmente associado ao crescimento excêntrico, mas é bem mais difícil de ser constatado macroscopicamente. Normalmente apresenta uma coloração distinta, mais clara (branco-prateada) do que o lenho normal e a superfície da madeira apresenta-se sedosa.

Com freqüência só é detectado microscopicamente pela presença de fibras com um anormal espessamento de suas paredes internas conhecidas por *fibras gelatinosas,* que o caracterizam e conferem à madeira o brilho especial. (Figura 59.)

As paredes destas células possuem elevado conteúdo de celulose, enquanto que a lignina é quase ausente.

As conseqüências da presença de lenho de tração são:

— difícil trabalhabilidade: as superfícies das peças apresentam-se ásperas, oferecem dificuldades na aplicação de pregos etc.;

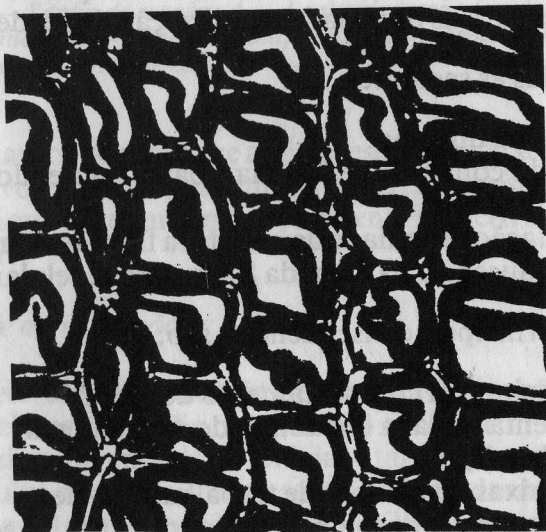



Figura 59 — Aspecto microscópico do lenho de tração, no qual se observam as fibras gelatinosas.
Fonte: Kollmann, 1959.

— grande instabilidade dimensional com tendência ao aparecimento de colapso;
— valor comprometido pela coloração anormal;
— elevada resistência a esforços de tração e baixa resistência à compressão e flexão;
— surgimento de compensados empenados, corrugados e rachados;
— dificuldades nas operações de cozimento para a fabricação de papel originando produto de baixa qualidade.

Nós

Nó é a porção basal de um ramo que se encontra embebida no tronco ou peças de madeira, provocando na sua vizinhança desvios ou a descontinuidade dos tecidos lenhosos. Quanto à aderência, o nó pode ser vivo, morto ou solto.

Conforme pode ser visto na Figura 60, o nó é vivo quando corresponde a uma época em que o ramo esteve fisiologicamente ativo na árvore, havendo uma perfeita continui-

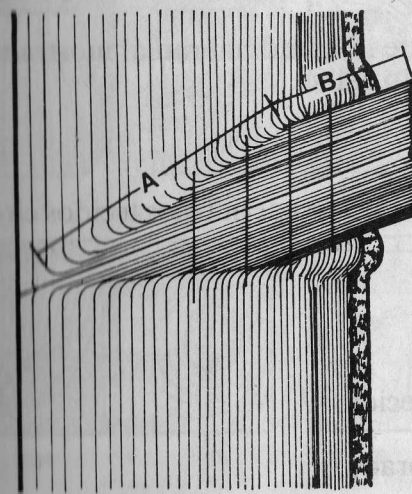



Figura 60 — Tipos de nós quanto à aderência: A — Nó vivo; B — Nó morto.
Fonte: Carvalho, 1957.

dade de seus tecidos lenhosos com os do tronco. Esta íntima ligação o integra perfeitamente ao lenho do fuste.

O nó morto corresponde a um galho que morreu e deixou de participar do desenvolvimento do tronco. Não há mais continuidade estrutural e a sua fixação depende apenas da compressão periférica exercida pelo crescimento diametral do fuste. Os nós, ao morrerem, podem sofrer transformações tais como acúmulo de resinas ou outros materiais que lhes conferem acentuada dureza. A presença destes nós pode prejudicar enormemente a trabalhabilidade da madeira. Exemplo: pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.-*Araucariaceae*).

O nó morto pode ser solto quando corresponde a um galho seco que se separou da peça de madeira deixando uma cavidade ou olhal, o que muito prejudica a aparência e propriedades físico-mecânicas das tábuas (Figura 61, nº 16).

Os nós podem ainda surgir como (Figura 61):

1. Nós verticilados. Exemplo: pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.-*Araucariaceae*).
2. Corte transversal de um tronco com ramos verticilados, no qual houve queda natural dos galhos e conseqüente cicatrização sadia.
3. Corte transversal e corte longitudinal radial mostrando nó cortado no eixo do galho.
4. Nó aliforme.
5. Duplo nó aliforme.
6. Nó aliforme bem fino.
7. Nó circular sadio e firmemente aderido aos tecidos circundantes.
8. Nó oblíquo ou ovalado.
9. Nó de aresta.
10. Nó transverso.
11. Nós múltiplos.
12. Nó com periferia enegrecida.
13. Nó semideteriorado.
14. Nó oblíquo semideteriorado.
15. Nó preto.
16. Nó solto.
17. Nó deteriorado.
18. Nó semideteriorado.

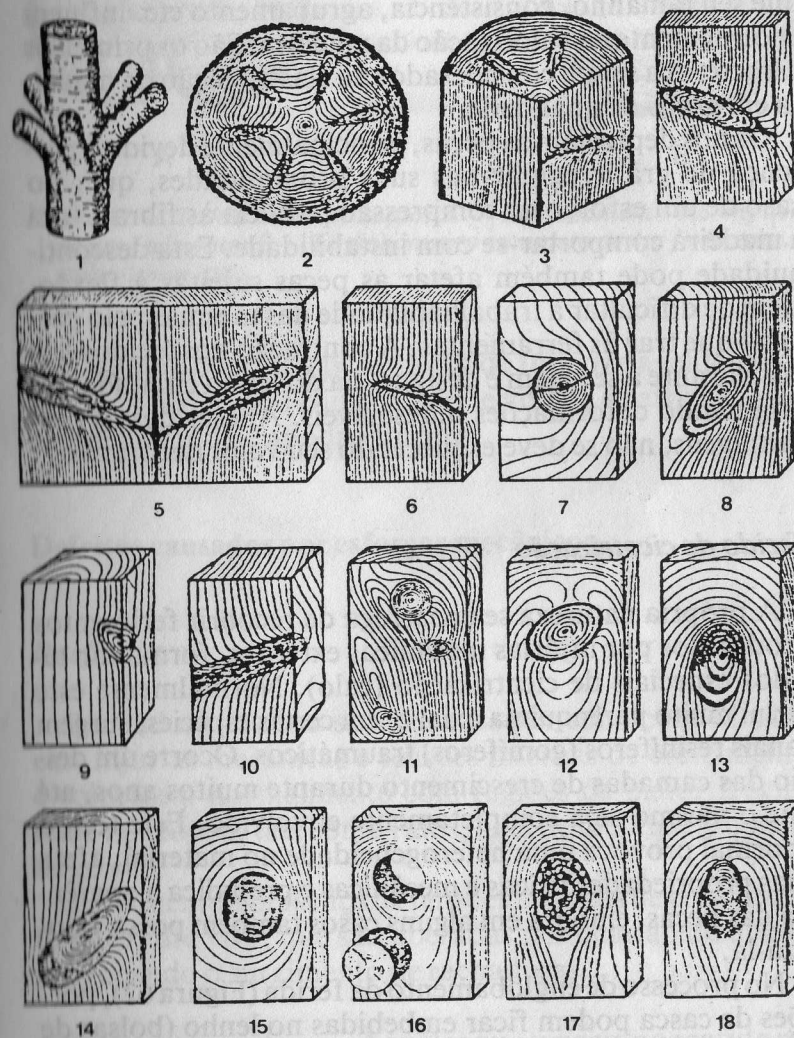



Figura 61 — Localização e tipos de nós nas peças de madeira.
Fonte: Grosser, 1980.

Além destes tipos de nós, existe o nó incluso, que se encontra completamente englobado no lenho, não aparecendo nas superfícies de corte.

Apresentaram-se detalhadamente os tipos de nós porque seu tamanho, consistência, agrupamento etc. influem enormemente na valorização da madeira. São os primeiros caracteres a serem considerados na classificação da madeira em graus de qualidade.

Os nós depreciam as peças, principalmente devido à presença de grã irregular nas suas proximidades, que, no caso de um esforço de compressão paralela às fibras, fará a madeira comportar-se com instabilidade. Esta descontinuidade pode também afetar as peças sujeitas à flexão, além de dificultar a trabalhabilidade das mesmas pelo prejuízo que traz às ferramentas. A contração dos tecidos dos nós durante a secagem é desigual da do lenho circundante, originando deformações indesejáveis. Apesar destas desvantagens, não se deve esquecer do seu valor decorativo.

Tecido de cicatrização

A própria natureza se encarrega de recobrir ferimentos produzidos por injúrias mecânicas externas, formando tecidos especiais de cicatrização (calo). Normalmente este inclui muito parênquima axial e, em certas espécies, surgem canais resiníferos (gomíferos) traumáticos. Ocorre um desvio das camadas de crescimento durante muitos anos, até que o mesmo seja completamente envolvido. Este tecido anormal provoca uma heterogeneidade no material, afeta suas propriedades físicas e mecânicas e prejudica a aparência das peças, embora em alguns casos também possa valorizá-la.

No processo de englobamento da ferida (Figura 62), porções de casca podem ficar embebidas no lenho (bolsas de casca).

Máculas medulares são porções de tecido anômalo, freqüentemente de origem traumática, provocadas por ferimentos, picadas e/ou galerias de insetos na região cambial.

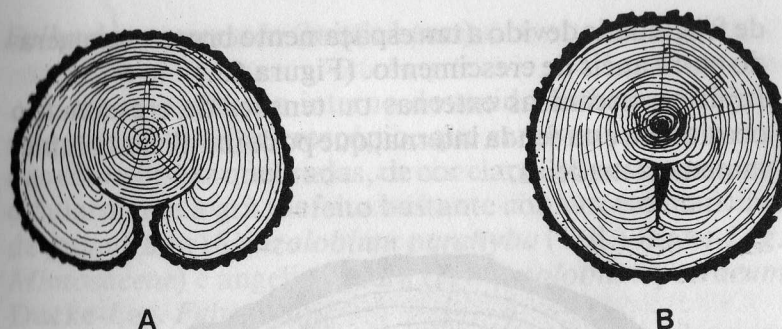



Figura 62 — Tecido de cicatrização: A — Englobamento incompleto de um ferimento; B — Englobamento completo de um ferimento.
Fonte: Grosser, 1980.

É comum ocorrer a penetração de fungos e agentes xilófagos na região do ferimento e o tecido de cicatrização vir acompanhado de apodrecimento.

Defeitos causados por esforços mecânicos

Rachaduras

Rachaduras podem ser causadas por condições climáticas, injúrias mecânicas e tensões internas de crescimento e coincidem normalmente com regiões de maior fragilidade no tronco, tais como raios, anel de crescimento mais largo etc.

É freqüente a presença de tensões internas de crescimento na árvore viva, que são liberadas por ocasião do abate, provocando o surgimento de rachaduras.

- *Rachaduras radiais* — Aquelas que surgem no sentido radial, normalmente coincidindo com os raios.
- *Aceboladura* — É uma fenda circular que ocorre no interior do tronco, correspondendo geralmente a uma zona

de fragilidade devido a um espaçamento brusco e exagerado entre anéis de crescimento. (Figura 63.)
Injúrias mecânicas externas ou tensões de crescimento ocasionam esta fenda interna, que pode inutilizar completamente a madeira.

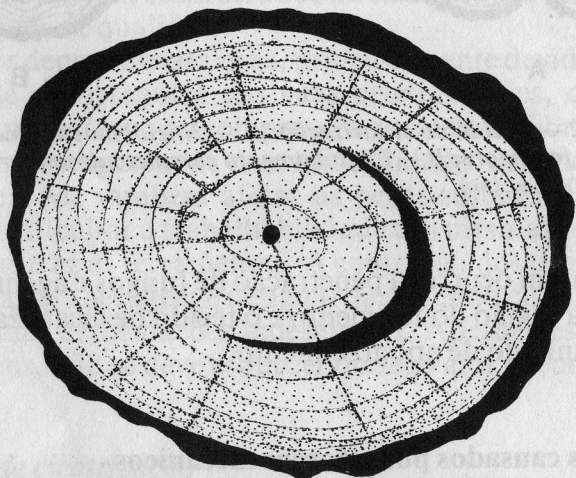



Figura 63 — Aceboladura.

• *Bolsas de resina (ou goma)* — Quando no defeito anterior o espaço oco é preenchido por resina ou goma têm-se as chamadas *bolsas de resina* ou *goma*.
Resultam de fendas tangenciais praticadas no câmbio por esforços mecânicos.
Este defeito afeta não só a aparência da superfície das peças, mas também suas propriedades mecânicas. O afluxo anormal de resina ou goma origina zonas de lenho translúcido ou produz manchas que podem se liquefazer quando aquecidas durante o processamento industrial.
Bolsas de resina ou goma prejudicam enormemente a madeira para folheados e contraplacados, além de provocarem locais de desalinhamento dos tecidos lenhosos.

Falha de compressão (brittle heart)

É um rompimento interno do tecido lenhoso, às vezes só perceptível ao microscópio, que surge nas peças serradas como linhas quebradas, de cor clara, dispostas perpendicularmente à grã, defeito bastante comum em madeiras de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake-*Leg. Mimosaceae*) e angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum* Ducke-*Leg. Fabaceae*).

Algumas vezes, observa-se uma mancha de tonalidade mais escura envolvendo o tecido ofendido, em conseqüência de um afluxo anormal de goma ou resina.

Quando a lesão é muito extensa, o calo cicatricial poderá aparecer externamente no fuste sob a forma de rugas ou protuberâncias.

Estas falhas resultam de deformações permanentes das paredes celulares, provenientes de compressão acima do limite elástico, causadas por traumatismos produzidos pelo vento, peso da neve, queda de árvores sobre outras vizinhas por ocasião do abate, ou esforços que acarretem acentuada curvatura do tronco sem que ele se quebre.

As falhas de compressão constituem um sério defeito, por afetarem profundamente as propriedades mecânicas da madeira, fazendo com que esta se quebre inesperadamente (ver *Lenho de reação* e *Tecido de cicatrização*).

Defeitos causados por agentes bióticos e climáticos

Alterações da cor

A morte prematura das células parenquimáticas do alburno, em conseqüência de ferimentos e temperaturas extremas, pode ser um dos motivos para o surgimento de anomalias da cor que depreciam ou, em certos casos, valorizam a madeira. Fungos e bactérias também são causadores de manchas e alterações da coloração natural. Muitas

madeiras, especialmente as de cor clara, são suscetíveis, após o abate, ao aparecimento de manchas azuladas de origem fúngica.

Apodrecimento e perfurações

Este assunto será apenas enfocado superficialmente, já que um estudo mais aprofundado ultrapassa os limites da anatomia da madeira.

Fungos apodrecedores são os responsáveis pela ocorrência de toras ocas, defeito que muitas vezes só vem se revelar com o abate da árvore e cuja incidência é bastante freqüente na prática. Estes agentes também causam consideráveis danos na madeira em utilização, dependendo o montante do prejuízo do estágio do ataque e do tipo do fungo causador. Os efeitos variam desde manchas e alteração da cor, perdas da resistência mecânica até a degradação completa da madeira. O ataque fúngico surge freqüentemente em conseqüência de ferimentos externos que favorecem a sua penetração.

Outro importante defeito de origem biótica são as perfurações e galerias escavadas na madeira, tanto em árvores vivas como em toras abatidas e em madeira beneficiada, causadas por insetos, principalmente durante a sua fase larval (muitos coleópteros) ou adulta (certos coleópteros e térmitas).

Além dos organismos xilófagos e degradadores da madeira mencionados, há ainda as bactérias, os moluscos, os crustáceos e outros mais (ver *Bifurcação ou aforquilhamento*).

Tecido de cicatrização

Animais, tanto de pastoreio como silvestres, produzem freqüentes ferimentos nas árvores, provocando a formação de tecidos de cicatrização, defeito este já abordado em *Tecido de cicatrização*.

Prejuízos causados pela presença de substâncias especiais

Muitas árvores possuem substâncias especiais em suas células, que podem vir a constituir defeitos, caso apresentem efeitos tóxicos ao homem, tais como irritações da pele, olhos ou nariz, alergias, dores de cabeça, ânsia etc., ou danifiquem as serras e equipamentos pela ação de substâncias inorgânicas duríssimas, como, por exemplo, carbonato de cálcio em baitoa (*Phyllostemon brasiliensis* Capan.-*Ulmaceae*), ou elevado conceito de sílica em maçaranduba (*Manilkara elata* (Allem. ex Miq.) Monachino, sin. *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. Standl-*Sapotaceae*) e itaúba (*Mezilaurus itauba* (Meissn.) Taub. ex. Mez-*Lauraceae*), ao serem processadas. Exemplos de algumas madeiras brasileiras prejudiciais à saúde:

- caviúna (*Machaerium scleroxylon* Tul.-*Leg. Fabaceae*): dermatite, asma, tonturas, ânsia etc.;
- peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron* Muell. *Arg. Apocynaceae*): dermatite, ânsia, asma, cãimbras etc.;
- jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* Allem.-*Leg. Fabaceae*): dermatite;
- peroba-amarela (*Paratecoma peroba* (Record) Kuhlm.-*Bignoniaceae*): dermatite;
- jacareúba (*Calophyllum brasiliense* Camb.-*Guttiferae*): tonturas.

Índice remissivo dos gêneros e espécies citados

Denominação científica	*Família*	*Denominação vulgar*	*Página*
Dalbergia nigra Allem.	*Leg. Fabaceae*	Jacarandá-da-bahia	89, 109, 141
Dalbergia sp	*Leg. Fabaceae*	Jacarandá	73, 92
Diospyros ebenum Koenig	*Ebenaceae*	Ébano	41
Endlicheria	*Lauraceae*	—	71
Ephedra	*Ephedraceae*	—	94
Eucalyptus sp	*Myrtaceae*	Eucalipto	75, 81
Euxylophora paraensis Huber	*Rutaceae*	Pau-amarelo	41, 47
Faramea sp	*Rubiaceae*	—	92
Ficus gameleira Standl.	*Moraceae*	Gameleira-branca	87
Gnetum	*Gnetaceae*	—	94
Gossypiospermum praecox (Griseb.) Wilson	*Flacourtiaceae*	Sapateiro	70
Goupia glabra Aubl.	*Goupiaceae* *	Cupiúba	85
Guilandina echinata (Lam.) Spreng. = sin. *Cesalpinia echinata* Lam.	*Leg. Caesalpiniaceae*	Pau-brasil	23, 40
Haematoxylum campechianum L.	*Leg. Caesalpiniaceae*	Pau-campeche	23, 24, 41
Humiria floribunda Mart.	*Humiriaceae*	Umiri	18
Hura crepitans L.	*Euphorbiaceae*	Assacu	25
Hymenolobium petraeum Ducke	*Leg. Fabaceae*	Angelim-pedra	139
Ilex	*Aquifoliaceae*	—	71
Ilex paraguariensis St. Hil.	*Aquifoliaceae*	Erva-mate	28, 73, 90
Ilex sp	*Aquifoliaceae*	—	53
Larix	*Pinaceae*	—	63, 66
Lecythis	*Lecythidaceae*	—	25

* Segundo alguns botânicos, pertence à família *Celastraceae*.

Denominação científica	*Família*	*Denominação vulgar*	*Página*
Ligustrum sp	*Oleaceae*	—	92
Liriodendron tulipifera L.	*Magnoliaceae*	—	16, 17, 28
Loranthus longiflorus L.	*Loranthaceae*	White wood	85
Machaerium scleroxylon Tul.	*Leg. Fabaceae*	Caviúna	141
Machaerium sp	*Leg. Fabaceae*	—	88
Magnolia	*Magnoliaceae*	Magnólia	71
Manilkara elata (Allem. ex Miq.) Monachino = sin. *M. huberi* (Ducke) A. Chev.	*Sapotaceae*	Maçaranduba	141
Mezilaurus itauba (Meissn.) Taub. ex Mez	*Lauraceae*	Itaúba	141
Mimosa scabrella Benth.	*Leg. Mimosaceae*	Bracatinga	17, 109
Minquartia guianensis (Aubl.)	*Olacaceae*	Acariquara	128
Nectandra	*Lauraceae*	—	42
Ochroma lagopus Sw.	*Bombacaceae*	Balsa	49
Ocotea porosa (Nees et Mart. ex Nees) L. Barroso	*Lauraceae*	Imbuia	45, 81
Ocotea pretiosa (Ness) Mez	*Lauraceae*	Sassafrás	42, 87
Ocotea splendens (Meissn.) Baill.	*Lauraceae*	—	89
Parapiptadenia rigida (Benth.) Brenan	*Leg. Mimosaceae*	Angico-vermelho	15
Paratecoma peroba (Record) Kuhlm.	*Bignoniaceae*	Peroba-amarela	141
Parinari sp	*Chrysobalanaceae*	—	92
Patagonula americana L.	*Boraginaceae*	Guaiuvira	75, 77
Peltogyne sp	*Leg. Caesalpiniaceae*	Pau-roxo	41
Phyllostemon brasiliensis Capan.	*Ulmaceae*	Baitoa	141
Picea	*Pinaceae*	—	63 a 67
Picea abies (L.) Karst.	*Pinaceae*	Abeto	53